

DURABILIDADE E ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE EM BETÃO

Versão Provisória

GORETI SOFIA MARQUES DE SÁ SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM MATERIAIS E PROCESSOS DE
CONSTRUÇÃO**

Professora Doutora Maria Joana Álvares Ribeiro de Sousa Coutinho

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

“Os obstáculos existem para nos permitirem provar quão forte é o nosso desejo de conseguir algo”

Randy Pausch

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Joana Sousa Coutinho, por todo o empenho, dedicação, disponibilidade e até paciência constante ao longo de toda a elaboração deste trabalho.

À Helena por toda a disponibilidade, ensinamentos e por toda a ajuda prestada no decorrer deste trabalho.

À Cecília e a todo o LABEST e LMC agradeço a valiosa ajuda e a simpatia com que me receberam, nos laboratórios.

Aos meus amigos, toda a ajuda, paciência e incentivo demonstrado para me ajudarem na realização de todo este trabalho.

À minha mãe, irmã e namorado exprimo o meu sincero reconhecimento e agradecimento, por todo o apoio, carinho, amor, amizade e força que me fizeram superar todos os obstáculos.

RESUMO

A utilização de betão auto-compactável (BAC) tem crescido em Portugal e no Mundo prevendo-se que no futuro, na maioria das obras seja utilizado este material devido às suas excepcionais vantagens relativamente ao betão comum.

A durabilidade das estruturas de betão e pré-esforçado tem sido uma preocupação constante no meio técnico da construção civil, sendo fundamental instituir parâmetros de avaliação simples e eficazes que traduzam os vários aspectos da durabilidade.

O trabalho presente diz respeito a ensaios de absorção por capilaridade e determinação do coeficiente de absorção baseado no E LNEC 393.

Preferiu-se betão auto-compactável em detrimento do betão comum devido a ser um material menos heterogéneo e foi utilizada argamassa auto-compactável prevendo-se que a investigação prossiga para a fase do betão.

Uma primeira fase do trabalho diz respeito à determinação do método mais eficaz de isolamento das faces laterais dos provetes. Os métodos usados consistiram na utilização de revestimento epóxico, parafina, fita isoladora e fita de alumínio autocolante, tendo-se decidido por utilizar este último método.

A segunda fase envolvendo sempre o mesmo tipo de argamassa auto-compactável, consistiu em analisar a influência sobre o coeficiente de absorção dos seguintes aspectos:

- Extensão de isolamento dos provetes (total, parcial ou nenhuma),
- Temperatura de secagem para obtenção de massa constante antes do ensaio de absorção por capilaridade,
- Altura dos provetes considerando a mesma superfície de absorção,
- Consideração da face lateral em vez da face usual do fundo da cofragem e, finalmente,
- Diferentes dimensões dos provetes.

As dimensões dos provetes utilizados foram de 40x40x40, 40x40x80, 40x40x160, 70x70x50, 70x70x70, 100x100x50, 100x100x75, 100x100x100, 150x150x50, 150x150x100 e 150x150x150.

Conclui-se que os provetes de base 40x40x40 são demasiado pequenos, que a protecção dos provetes deve ser total, que é mais seguro utilizar a temperatura de secagem de 40°C, que o coeficiente de absorção aumenta com a altura do provete, que a face lateral conduz a um coeficiente de absorção mais elevado e que superfícies em contacto com a água mais extensas conduzem a coeficientes de absorção menores.

Futuros trabalhos de investigação deverão ser levadas a cabo para melhor compreender os vários aspectos analisados transformando o coeficiente de absorção num parâmetro repetível, simples e sensível de avaliação da rede porosa e consequentemente da durabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: betão auto-compactável, absorção por capilaridade, durabilidade, argamassa e ensaios.

ABSTRACT

SCC – Self Compacting Concrete has been increasingly used in Portugal and throughout the world. It is expected that in the future most of construction shall be using SCC because of the exceptional advantages shown, compared to common concrete.

Durability of reinforced and pre-stressed concrete structures has become a constant issue in the construction industry. It has become obvious that durability-related parameters must be simple and efficient.

The present work deals with one of these parameters related to absorption by capillarity and determination of sorptivity based on LNEC E393. SCC was preferred to common concrete because it is a less heterogeneous material. Self compacting mortar was used throughout the research program with the perspective of a future adaptation of the test to concrete.

A first phase involved determining the best way of water proofing the side walls of the specimens. The methods used were epoxy coating, paraffin, adhesive strip and aluminium adhesive strip. The last of this was method chosen.

The second phase involving same self compacting mortar comprised analysing the influence on sorptivity of:

- Extension of water proofing of the test specimens (total, partial and none),
- Temperature to obtain constant mass during the drying procedure prior to absorption testing,
- Height of test specimens, with the same absorption area,
- Consideration of the side form face instead of the usual bottom face, and finally of,
- Different sizes of the test specimens.

Test specimens used were of 40x40x40, 40x40x80, 40x40x160, 70x70x50, 70x70x70, 100x100x50, 100x100x75, 100x100x100, 150x150x50, 150x150x100 and 150x150x150.

This work led to the conclusion that specimens 40x40 are too small, total water proofing should be considered, it is safer to use 40°C in terms of drying, sorptivity increases with specimen height, the side form face leads to higher sorptivity values and larger bottom faces lead to lower sorptivity values.

Future work must be carried out to further understand these issues and finally decide on the best procedure for an effective sorptivity test this is, a durability related test.

KEYWORDS: Self Compacting Concrete (SCC), absorption by capillarity, mortar, durability and test.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA	1
1.2. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
 2. ESTADO DA ARTE DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL	 3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL	3
2.2.1. CAPACIDADE DE ENCHIMENTO	4
2.2.2. CAPACIDADE DE PASSAGEM	4
2.2.3. RESISTÊNCIA À OCORRÊNCIA DE SEGREGAÇÃO	4
2.2.4. MATERIAIS DO BAC	5
2.2.4.1. Cimento	5
2.2.4.2. Adições	5
2.2.4.3. Superplastificante	6
2.2.4.4. Água	6
2.2.4.5. Agregados	6
2.2.5. VANTAGENS ECONÓMICAS E TÉCNICAS DO USO DO BAC	6
2.2.6. ENSAIOS DE TRABALHABILIDADE	7
2.2.6.1. Ensaio espalhamento betão	7
2.2.6.2. Ensaio Fluides (V Funnel test)	8
2.2.6.3. Ensaio de auto-compactabilidade (caixa em U)	9
2.2.6.4. Ensaio de auto-compactabilidade (caixa em L)	9
2.2.7. PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES DO BAC	10
2.2.7.1. Aplicações do BAC em pré-fabricação	11
2.2.7.2. Aplicações do BAC “in situ”	11
2.3. BIBLIOGRAFIA	12

3. ESTADO DA ARTE DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE	13
3.1. INTRODUÇÃO	13
3.2. ENSAIOS DE CAPILARIDADE	14
3.2.1. ENSAIOS DO LNEC E393	14
3.2.1.1. Tipos de provetes	14
3.2.1.2. Preparação de provetes	15
3.2.1.3. Procedimento	15
3.2.1.4. Resultados	15
3.2.2. BALAYSSAC ET AL.	15
3.2.2.1. Tipos de provetes	16
3.2.2.2. Preparação de provetes	16
3.2.2.3. Procedimento	16
3.2.2.4. Resultados	16
3.2.3. TRL – TRANSPORT RESEARCH LABORATORY UK	16
3.2.3.1. Tipos de provetes	16
3.2.3.2. Preparação de provetes	16
3.2.3.3. Procedimento	17
3.2.3.4. Resultados	17
3.2.4. NISTIR 6395	17
3.2.4.1. Tipos de provetes	17
3.2.4.2. Preparação de provetes	17
3.2.4.3. Procedimento	17
3.2.4.4. Resultados	18
3.2.5. EN 1015-18	18
3.2.5.1. Tipos de provetes	18
3.2.5.2. Preparação de provetes	18
3.2.5.3. Procedimento	19
3.2.5.4. Resultados	19
3.3. CONCLUSÕES	19
3.4. BIBLIOGRAFIA	20

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	21
4.1. INTRODUÇÃO	21
4.2. MÉTODOS DE ISOLAMENTO DOS PROVETES	21
4.2.1. MATERIAIS	22
4.2.2. PROCEDIMENTO	22
4.2.2.1. Fita de alumínio	22
4.2.2.2. Tinta epóxida	23
4.2.2.3. Parafina	24
4.2.2.4. Fita impermeável	26
4.2.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE APERFEIÇOAMENTO DO MÉTODO DE ISOLAMENTO DOS PROVETES	27
4.3. ENSAIOS DE CAPILARIDADE	28
4.3.1. MATERIAIS DAS AMASSADURAS	28
4.3.2. ENSAIOS REALIZADOS	29
4.3.2.1. Ensaio de Espalhamento de argamassas	29
4.3.2.2. Ensaio de fluidez de argamassas	29
4.3.3. PREPARAÇÃO DO ENSAIO	30
4.3.4. RESULTADOS	33
5. CONCLUSÕES	45
5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
5.1.1. DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM EM ESTUFA	45
5.1.2. FACE LATERAL VS FACE INFERIOR	46
5.1.3. DIFERENTES ALTURAS DOS PROVETES	47
5.1.4. DIFERENÇA DE DIMENSÃO E ISOLAMENTO DE PROVETES	47
5.2. TRABALHOS FUTUROS	49
5.3. BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Cone de Abrams	7
Fig.2.2 – Ensaio de espalhamento.....	8
Fig.2.3 – Funil utilizado no teste de fluidez	8
Fig.2.4 – Enchimento do funil utilizado no teste de fluidez	9
Fig.2.5 – Ensaio da caixa em U	9
Fig.2.6 – Esquema da Caixa em L.....	10
Fig.2.7 – Ensaio de auto-compactabilidade com caixa em L.....	10
Fig.2.8 – Peça pré-fabricada em BAC utilizada na estação de metro do Amsterdã Arena	11
Fig. 2.9 – Vista da armadura da estrutura a ser betonada com BAC	12
Fig.3.1 – Qualidade do betão em função do coeficiente de absorção S	14
Fig.4.1 – Colagem da fita de alumínio	22
Fig.4.2 – Provete pronto a ser ensaiado	22
Fig.4.3 – Ensaio a decorrer	23
Fig.4.4 – Início preparação da tinta epóxida	23
Fig.4.5 – Mistura homogénea.....	24
Fig, 4.6 – Aplicação da tinta epóxida	24
Fig.4.7 – Isolamento das partes a aplicar Parafina.....	25
Fig.4.8 – Aquecimento da Parafina para aplicação	25
Fig.4.9 – Aplicação da Parafina	25
Fig. 4.10 – Provete a ser ensaiado	26
Fig. 4.11 – Ensaio a decorrer	26
Fig.4.12 – Provete após ensaio.....	27
Fig.4.13 – Gráficos de resultados do método tinta epóxida.....	27
Fig.4.14 – Ensaio de espalhamento.....	29
Fg.4.15 – Procedimento de amassaduras	30
Fig.4.16 – Ensaio de espalhamento.....	31
Fig.4.17 – Ensaio do funil.....	31
Fig.4.18 – Moldagem da argamassa.....	31
Fig.4.19 – Provetes na câmara de cura	32
Fig.4.20 – Provetes na estufa	32
Fig.4.21 – Provetes isolados.....	33

Fig.4.22 – Ensaio a decorrer	33
Fig.4.23 – Exemplo de pesagem de provetes	33
Fig.4.24 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 40x40x40 mm com protecção total, sem protecção e com protecção parcial	34
Fig.4.25 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 70x70x50 com protecção total, sem protecção e com protecção parcial	35
Fig.4.26 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 100x100x50 com protecção total, sem protecção e com protecção parcial	36
Fig.4.27 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensões 40x40x40 com protecção total	37
Fig.4.28 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensões 70x70x50 com protecção total	37
Fig.4.29 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensão 70x70x50 com protecção total	38
Fig.4.30 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 40x40x40, 40x40x80 e 40x40x160	39
Fig.4.31 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 100x100x50, 100x100x75 e 100x100x100	39
Fig.4.32 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 150x150x50, 150x150x100 e 150x150x150	40
Fig.4.33 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes temperaturas de secagem dos provetes até atingir massa constante, 40°C, 60°C e 80°C	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 – Coeficientes de absorção dos métodos de isolamento	28
Tabela 4.2 – Composição química do cimento utilizado (disponibilizada pela Secil)	28
Tabela 4.3 – Tipos de provetes utilizados	30
Tabela 4.4 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Protecção Total	41
Tabela 4.5 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Protecção Parcial	41
Tabela 4.6 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes Ausência de Protecção	42
Tabela 4.7 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Face Lateral	42
Tabela 4.8 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Diferentes Temperaturas	42
Tabela 4.9 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Diferentes Alturas	43
Tabela 5.1 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 100x100x50 para diferentes temperaturas de secagem	46
Tabela 5.2 – Quadro de resultados da comparação entre a face lateral e a face inferior de cofragem	46
Tabela 5.3 – Quadro de resultados da comparação provetes de diferentes alturas	47
Tabela 5.4 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 40x40x40 para diferentes tipos de isolamento	48
Tabela 5.5 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 70x70x50 para diferentes quantidades de isolamento	48
Tabela 5.6 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 100x100x50 para diferentes quantidades de isolamento	48
Tabela 5.7 – Quadro de resultados da comparação das dimensões dos provetes	49

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BAC – Betão auto-compactável

CaCO₃ – Calcite

CEM I 42,5 R – Cimento Portland da classe I 42,5 R

S – Coeficiente de Absorção [mg/(mm².min^{1/2})]

R² – Coeficiente de correlação linear

1

INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA

O tema do betão auto-compactável (BAC) é de grande interesse para a construção civil a nível internacional, cada vez mais sensibilizado para uma utilização eficiente dos novos materiais na construção.

Uma vez que uma das maiores preocupações a nível da durabilidade do betão é a entrada de água por capilaridade no betão, sendo que este será o principal precursor da corrosão das armaduras e consequente diminuição da vida útil das estruturas de betão armado ou pré-esforçado, pretende-se neste trabalho, dar um contributo para a caracterização da durabilidade através do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos ensaios existentes referentes à absorção capilar em betão.

1.2. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho tem como objectivo principal, o aperfeiçoamento do ensaio de absorção por capilaridade, pretendendo-se, para tal, o seguinte:

- Comparação entre diversos métodos de isolamento de provetes procurando escolher aquele que se mostrar mais eficaz na sua função.
- Comparação dos resultados do ensaio de absorção por capilaridade entre provetes da mesma dimensão mas quantidades de isolamento diferentes.
- Comparação dos resultados do ensaio de absorção por capilaridade para provetes com o mesmo tipo de isolamento mas área da superfície em contacto com a água diferentes.
- Comparação dos resultados do ensaio de absorção por capilaridade para provetes de igual dimensão com temperaturas diferentes de secagem em estufa.
- Comparação de resultados do ensaio de absorção por capilaridade para provetes com a mesma área inferior mas diferentes alturas.
- Comparação de resultados do ensaio de absorção por capilaridade com a utilização da face lateral e da face inferior de cofragem como superfície em contacto com a água.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação apresenta-se organizada da seguinte forma.

O CAPÍTULO 1 está reservado à descrição dos objectivos e da estrutura que constitui o presente trabalho.

No CAPÍTULO 2 apresenta-se uma descrição do conhecimento do betão auto-compactável, a sua evolução, vantagens e desvantagens da sua utilização assim como alguns exemplos de aplicações práticas deste tipo de betão.

No CAPÍTULO 3 apresenta-se uma descrição do conhecimento sobre ensaios de absorção de água por capilaridade.

No CAPÍTULO 4 descreve-se a metodologia adoptada na parte experimental relativa à escolha do melhor método de isolamento de provetes e dos ensaios efectuados para o aperfeiçoamento do ensaio de absorção por capilaridade.

No CAPÍTULO 5 apresentam-se as conclusões retiradas no âmbito do presente trabalho e algumas questões de maior interesse para abordar em desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL

2.1. INTRODUÇÃO

Há uma preocupação a nível mundial pela durabilidade do betão armado devido ao aumento do número de estruturas degradadas. De modo a garantir adequadamente a durabilidade do betão, terão que ser especificados outros requisitos para além das propriedades mecânicas

É conhecido que a interacção entre a camada superficial do betão com o meio ambiente é essencial para o início dos diversos processos de degradação. Uma avaliação das propriedades de transporte na camada superficial deverá fornecer alguma indicação quanto à durabilidade de determinado betão. Daí que, os ensaios utilizados para a avaliação da durabilidade do betão estimam os mecanismos transporte do betão.

2.2. BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL

O betão auto-compactável (BAC) responde à necessidade de se desenvolver um material que não seja afectado pela qualificação da mão-de-obra durante a sua colocação em obra e que não requeira qualquer tipo de vibração ou compactação mecânica. O betão auto-compactável é compactado somente devido ao seu peso próprio, em qualquer tipo ou forma de cofragem e sem segregação ou exsudação (Okamura, 1997).

A sua origem teve lugar no Japão, na década de 80, devido à falta de homogeneidade do betão convencional e consequente falta de durabilidade, devido às dificuldades de compactação em zonas de grande concentração de armaduras (acção sísmica) e ainda devido à redução de mão-de-obra especializada.

Domone (2006) fez um levantamento das publicações que relatavam o uso do BAC observando várias curiosidades, entre elas que 67% das obras em que se decidiu usar BAC foi devido às vantagens técnicas do material comparado com o betão convencional, como a impossibilidade de acesso ao local ou dificuldade de vibração; 14% por motivos económicos, através da redução do número de

trabalhadores ou do tempo de construção; e os restantes 10%, foi decidido pela utilização do BAC por este material ser uma inovação.

A auto-compactabilidade é obtida através de três requisitos:

- Capacidade de enchimento,
- Capacidade de passagem,
- Resistência à ocorrência de segregação.

2.2.1. CAPACIDADE DE ENCHIMENTO

Caracterizada pela facilidade com que o betão preenche o interior da cofragem e envolve a armadura, a capacidade de enchimento inclui o escoamento em termos da distância alcançada pelo betão desde o ponto onde foi depositado (capacidade de deformação) e a velocidade com que este se move (velocidade de deformação). Para se conseguir uma capacidade de enchimento adequada deve existir equilíbrio entre a capacidade de deformação e a velocidade de deformação que passa por reduzir o atrito inter-partículas e obter uma pasta com elevada deformabilidade.

De modo a ser possível atingir uma boa capacidade de enchimento deve-se diminuir o volume de agregado grosso, otimizar a granulometria da fase sólida, adicionar superplastificantes e controlar a razão água/finos.

2.2.2. CAPACIDADE DE PASSAGEM

A facilidade de passagem é caracterizada pela capacidade que o betão tem de passar por espaços estreitos resultantes da cofragem e das armaduras.

Um betão auto-compactável deve possuir fluidez suficiente e, simultaneamente, resistência à segregação de modo a se comportar adequadamente. Nos casos de existência de cofragens com espaços apertados ou congestionamento na armadura, é necessário evitar a ocorrência de bloqueio dos agregados grossos, assim sendo, deve haver compatibilidade entre a dimensão e a quantidade de partículas sólidas maiores e o espaçamento entre os varões da armadura e as aberturas da cofragem por onde o BAC vai passar.

Para se atingir uma boa facilidade de passagem deve-se diminuir o quociente água/finos, eventualmente introduzir um agente de viscosidade, diminuir o volume de agregados grossos e diminuir a máxima dimensão dos agregados.

2.2.3. RESISTÊNCIA À OCORRÊNCIA DE SEGREGAÇÃO

A segregação no betão fresco é caracterizada pela falta de homogeneidade na distribuição dos seus materiais constituintes, o que influencia a distribuição das propriedades na estrutura do betão.

O betão pode não exibir uma tendência para a segregação sob determinadas condições de movimento, mas segregar quando sujeito a outras condições, como por exemplo, ao passar por secções com elevada densidade de armadura.

O BAC não deve apresentar nenhum dos seguintes tipos de segregação, tanto em repouso como em movimento:

- Exsudação (segregação entre sólidos e água).
- Segregação da pasta e agregados.
- Segregação do agregado grosso originando o bloqueio.
- Não-uniformidade da distribuição dos poros de ar.

De modo a evitar a exsudação é essencial reduzir a quantidade de água livre na composição, para isso é necessário reduzir o conteúdo em água e a razão água/finos. Pode-se também utilizar materiais finos com elevada superfície específica, fazendo aumentar assim a quantidade de água absorvida à superfície das partículas dos finos.

A boa resistência à segregação é obtida quando se diminui a dosagem de água, diminui a razão água/finos, são utilizados materiais com maior superfície específica e são utilizados agentes de viscosidade. De modo a reduzir a separação dos sólidos é necessário limitar o conteúdo de agregados, reduzir a dimensão máxima do agregado e eventualmente introduzir um agente de viscosidade.

2.2.4. MATERIAIS NO BAC

2.2.4.1. Cimento

Todos os cimentos que estejam conforme a norma EN 197-1 podem ser utilizados na produção de betão auto-compactável. A escolha correcta do tipo de cimento utilizado é normalmente revelada por especificações nas normas utilizadas para cada aplicação.

2.2.4.2. Adições

Uma adição é um material inorgânico finamente dividido que pode ser adicionado ao betão (na amassadura) com a finalidade de melhorar certas propriedades ou adquirir propriedades especiais.

Existem dois tipos de adições, adições inertes ou semi-inertes (tipo I) e adições pozolânicas ou hidráulicas latentes (tipo II).

O filer calcário é uma adição utilizada para aumentar a viscosidade da pasta, principalmente, quando se pretende que o aumento da quantidade de finos não se traduza directamente num aumento da resistência do betão.

O filer calcário consiste em calcário pulverizado cujo principal componente é a calcite (CaCO_3), podendo apresentar uma superfície específica de 2500 a 8000 cm^2/g . Do ponto de vista químico é considerado quase inerte e por isso mesmo é uma adição do tipo I.

2.2.4.3. Superplastificantes

Os superplastificantes utilizados no BAC são essencialmente de dois tipos, agentes redutores de água de alta gama e agentes introdutores de ar e redutores de água de alta gama.

Os agentes redutores de água de alta gama são utilizados essencialmente na indústria de betão, enquanto os agentes introdutores de ar e redutores de água de alta gama, melhoram a capacidade de retenção da fluidez do betão, além de que o agente introdutor de ar mantém o teor de ar no betão num nível constante [Nawa e tal., 1998].

2.2.4.4. Água

A água além da sua função de hidratação do cimento, permite alterar a deformabilidade e a viscosidade do betão fresco, onde o aumento da quantidade de água livre se traduz no aumento da deformabilidade e na diminuição da viscosidade da argamassa.

A água livre no betão define-se como sendo a quantidade de água presente na pasta, subtraindo a água absorvida pelos finos e agregados finos.

2.2.4.5. Agregados

O peso normal dos agregados deve estar em conformidade com a EN 12620 e atender aos requisitos de durabilidade da EN 206-1, os agregados leves devem estar em conformidade com a EN 13055-1.

As partículas de agregados menores que 0,25mm são consideradas de forma a contribuir para o teor de finos do BAC.

O teor de humidade, absorção de água, classificações e variações dos conteúdos de finos de todos os agregados devem ser cuidadosamente e continuamente monitorizados e deve ser tida em conta a fim de produzir betões auto-compactáveis de qualidade constante. Usando agregados lavados, normalmente obtêm-se um produto mais consistente, no entanto, alterando a fonte de abastecimento é susceptível de acontecer uma mudança significativa nas propriedades do betão, logo deve ser cuidadosamente avaliada.

A forma e distribuição granulométrica do agregado são muito importantes e afecta as características do BAC.

2.2.5. VANTAGENS ECONÓMICAS E TÉCNICAS DO USO DO BAC

As principais vantagens do uso do betão autocompactável são:

- Diminuição dos custos de mão-de-obra,
- Redução de prazos,
- Diminuição do nível de ruído,
- Diminuição nos custos dos equipamentos de vibração e seus acessórios,
- Melhoria na homogeneidade do betão,
- Não dependência do factor mão-de-obra para garantir a qualidade do betão,

- Possibilidade de enchimento em zonas densamente armadas onde a compactação por vibrador de agulha é impossível,
- Melhoria na qualidade das superfícies de acabamento,
- Betão mais adequado para trabalhos de reparação.

2.2.6. ENSAIOS DE TRABALHABILIDADE

2.2.6.1. Ensaio de Espalhamento do betão

Este método de ensaio permite a avaliação da deformabilidade do BAC fresco a partir da observação da velocidade de deformação e diâmetro de espalhamento de uma amostra deformada por ação do peso próprio.

Para realizar este ensaio é necessário dispor de um cone de *Abrams* (fig.2.1); uma placa de aço com uma espessura superior a 2mm, uma área superior a $0,8 \times 0,8 \text{ m}^2$, com uma superfície suave e com uma circunferência de 500mm nela desenhada; uma fita métrica e um cronómetro.

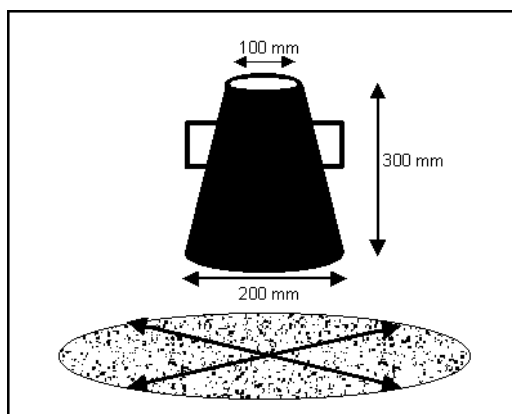


Fig.2.1 – Cone de Abrams

Para a realização deste ensaio é necessário humedecer o interior do cone e a superfície da placa de espalhamento, passando com um pano húmido; colocar a placa sobre uma superfície firme, plana e nivelada e posicionar o cone no centro da mesma. Logo após o final da amassadura, enche-se o cone de uma só vez, sem qualquer tipo de compactação e nivela-se o betão no topo do cone, de seguida levanta-se de forma cuidadosa e continua o cone na direcção vertical. No final do movimento do betão, mede-se o diâmetro aparentemente máximo da área de espalhamento do betão e o diâmetro perpendicular a este. Para o valor do diâmetro de espalhamento da amostra de betão testada toma-se a média dos dois diâmetros registados. O tempo que o betão demora a atingir o diâmetro de 500mm (T50, segundos) é medido com um cronómetro desde o início do levantamento do cone até o diâmetro máximo da área de betão atingir a circunferência dos 500mm. O tempo de final do escoamento (Tfinal, segundos) é medido com um cronómetro desde o início do levantamento do cone até ao final do movimento da amostra do betão.



Fig.2.2 – Ensaio de espalhamento.

Este ensaio é um dos métodos mais usados para avaliar a consistência do BAC tanto em laboratório como no local de construção devido à facilidade de transporte e operação.

O ensaio de espalhamento é um ensaio de controlo bastante útil, depois de estudada a composição em laboratório, no entanto, exige ainda a observação de um operador experiente para tomar a decisão de aceitação ou não do BAC. É um ensaio no qual se pode verificar a estabilidade do betão uma vez que, os agregados devem estar distribuídos uniformemente até à periferia onde não se pode verificar a ocorrência de segregação.

Uma vez que neste ensaio o betão deforma-se sobre uma superfície plana sem obstáculos, não é possível avaliar a capacidade do betão de passar em zonas reforçadas com armaduras, ou seja, betões com o mesmo valor do diâmetro de espalhamento podem apresentar comportamentos diferentes ao passar por obstáculos, dependendo das proporções na composição.

2.2.6.2. Ensaio de Fluidez (V Funnel test)

Este ensaio é utilizado para avaliar a capacidade do BAC fresco passar através de pequenas aberturas, o que envolve a viscosidade, através da observação da velocidade de escoamento.

O ensaio é realizado com um funil (fig. 2.3 e 2.4) que depois de cheio com o betão procede-se à medição do tempo que decorre desde a abertura do orifício de descarga e o aparecimento do primeiro raio de luz no fundo do funil, quando se olha verticalmente pela parte superior do mesmo.

O tempo que é desejável obter para o escoamento do betão é na ordem dos 10 segundos.

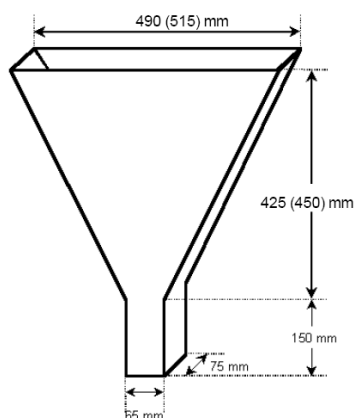


Fig.2.3 – Funil utilizado no teste de fluidez.



Fig.2.4 – Enchimento do funil utilizado no teste de fluidez.

2.2.6.3. Ensaio de Auto-Compactabilidade (caixa em U)

Este ensaio permite avaliar a auto-compactabilidade do betão fresco, tais como, a capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação, fazendo passar o betão através de varões de armadura devido apenas à acção do peso próprio.

A auto-compactabilidade é avaliada através da altura alcançada pelo betão depois de atravessar um obstáculo constituído por varões paralelos com um espaçamento reduzido entre eles. Este ensaios é eficaz apenas para decidir se o betão possui ou não auto-compactabilidade suficiente, se não a apresentar, a causa deve ser detectada quantitativamente, de maneira a que as proporções na composição sejam corrigidas.



Fig.2.5 – Ensaio da caixa em U.

2.2.6.4. Ensaio de Auto-Compactabilidade (caixa em L)

Este ensaio constitui uma alternativa ao ensaio de auto-compactabilidade da caixa em U, uma vez que, permite igualmente avaliar a capacidade do betão atravessar armaduras por acção do peso próprio.

A auto-compactabilidade é avaliada como a altura alcançada pelo betão depois de passar através de varões de aço paralelos e de percorrida uma distância na horizontal.

Através deste ensaio é possível avaliar várias propriedades do BAC, como a deformabilidade, bloqueio e segregação.

A zona vertical da caixa é cheia com betão que é deixado durante 1 minuto a repousar, durante este período de tempo é possível verificar se o BAC é ou não estável e se ocorre segregação, através de observação visual. Depois de aberta a comporta o betão flui da parte vertical para a horizontal

atravessando os varões de aço, podendo determinar-se a velocidade de movimento do betão, controlando o tempo que o betão demora a percorrer 200 (T20) e 400mm (T40), fig.2.6, ao longo da zona horizontal.

Quando termina o movimento é necessário determinar a razão entre a altura do betão na parte final (H2) e a altura na coluna (H1), fig.2.6, segundo *Peter Billberg* (Petersson e Billberg, 1999), o valor desta razão deve ser superior ou igual a 0,8.

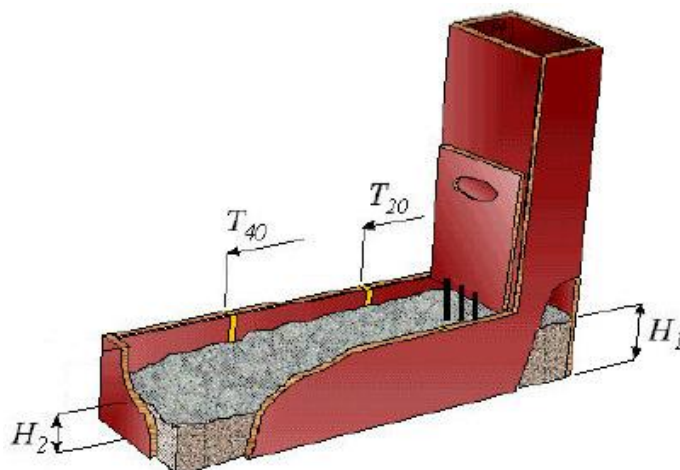


Fig.2.6 – Esquema da Caixa em L.



Fig.2.7 – Ensaio de auto-compactabilidade com caixa em L.

Os resultados obtidos com este ensaio são bastante úteis, no entanto, não existe consenso quanto aos principais parâmetros do equipamento de ensaio, tais como o tamanho ou a forma da caixa em L, uma vez que existe pouco conhecimento sobre a influência dos parâmetros da caixa nos resultados dos ensaios. Surge também outra dificuldade, que se prende com os pontos exactos onde devem ser medidas as alturas do betão.

2.2.7. PRINCIPAIS UTILIZAÇÕES DO BAC

As aplicações do betão auto-compactável podem ser divididas em dois grupos: a indústria de pré-fabricação e em construções onde o betão é moldado no local. No primeiro grupo o desenvolvimento do BAC é superior, devido à sua maior sensibilidade a variações em relação ao betão convencional, sendo mais fácil de se controlar as suas características num ambiente industrial.

As principais vantagens da utilização do BAC em ambiente industrial face à utilização em edificações *in situ* são (Walraven, 2005):

- No caso de falha total da trabalhabilidade do BAC, as consequências da aplicação *in situ* são mais severas, uma vez que pode-se ter que demolir uma estrutura ou parte dela, enquanto que, na indústria de pré-fabricação, basta descartar a peça,
- Normalmente é complicada a realização de complexos controlos de qualidade de recepção de materiais em edificações,
- As características de auto-compactabilidade são mais facilmente alcançáveis e mais económicas para betões de resistência à compressão superiores, que são mais utilizados em pré-fabricação,
- A indústria de pré-fabricados tem um maior controlo sobre os custos (Pacios, 2005).

2.2.7.1. Aplicações do BAC em Pré-Fabricados

A figura 2.8 ilustra um tabuleiro de betão pré-fabricado pré-tensionado, utilizado na estação de metro do Amsterdã Arena, estádio de futebol do Ajax. O principal motivo para a utilização do BAC nesta construção foi o elevado número de repetições da forma, uma vez que esta estação possui quatro pistas de 135 metros de comprimento, totalizando 1,4 Km e como cada painel possui um comprimento de 23,30 metros, foram executadas 60 unidades.



Fig.2.8 – Peça pré-fabricada em BAC utilizada na estação de metro do Amsterdã Arena (Walraven, 2005)

2.2.7.2. Aplicações do BAC “*in situ*”

Apesar das dificuldades da aplicação do BAC em estruturas tradicionais *in situ*, já são muitos os exemplos da sua utilização, uma vez que as dificuldades têm sido transpostas pelos especialistas em betão.

Uma das utilizações de maior sucesso do BAC *in situ* é na recuperação de estruturas antigas, onde não é aconselhável a existência de vibração, o que poderia ocasionar falhas superiores às que estavam a ser recuperadas ou, até mesmo, a ruptura do elemento.

Um exemplo da utilização deste tipo de betão é a recuperação em 2002 da *The Katelbridge*, uma ponte na Holanda com 45 anos, onde a principal falha foram aberturas entre os tabuleiros devido à sobrecarga (fig.2.9).

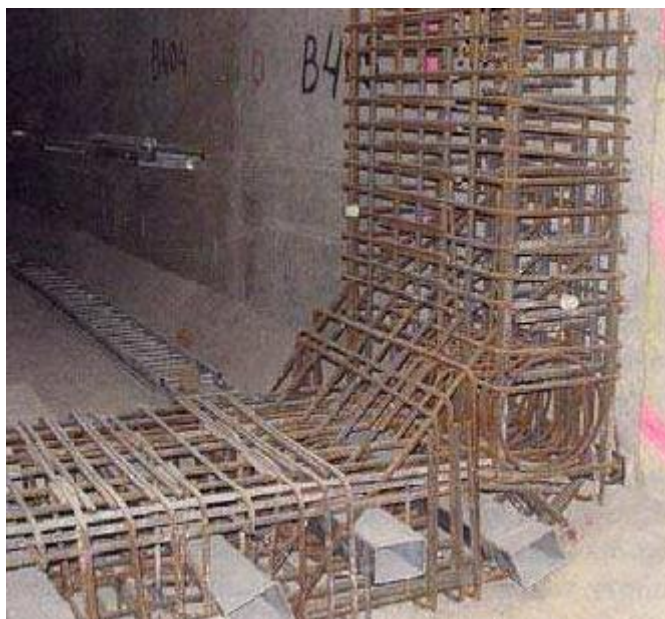


Fig. 2.9 – Vista da armadura da estrutura a ser betonada com BAC (Walraven, 2005)

2.3. BIBLIOGRAFIA

Nunes, S. (2001). *Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Ferreira, R. (2002). *Betão autocompactável – Influência dos superplastificantes na fluidez e deformabilidade das pastas ligantes*. ISEC.

Figueiras, H., et al. (2006). *Aplicação das tecnologias do BAC e do CPF na indústria da pré-fabricação: aferição das características mecânicas e de durabilidade*, 2006, LABEST, FEUP.

Nunes, S. et al. (2006). *Aplicações do BAC à escala real*. Construnor, 2006.

Tutikian, B. (2007). *Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figueiras, H. *Estudo e desenvolvimento experimental de composições de betão auto-compactável. Aferição das suas características mecânicas e durabilidade*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Oliveira, M., Almeida, E. (2007). *Apontamentos de Betão auto-compactável (BAC)*, 2007, Universidade do Algarve, Escola Superior Técnica, Faro.

3

ESTADO DE ARTE DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

3.1. INTRODUÇÃO

Há muito tempo que as preocupações com a durabilidade do betão, tem vindo a crescer, assim como a necessidade de conhecer bem todas as características do material para desse modo prever e evitar a degradação das estruturas.

A absorção de água por capilaridade é um dos mecanismos fundamentais de penetração de água através do betão de recobrimento. De facto a maior parte das estruturas de betão armado ou pré-esforçado está sujeita a, sobretudo, fenómenos de absorção de água por capilaridade ciclicamente causados sobretudo pela chuva. A água, além de poder ser nociva à estrutura alimentando o fenómeno de corrosão, funciona também como meio de transporte de agentes agressivos nela dissolvidos.

Os ensaios de absorção por capilaridade são o exemplo de um ensaio que embora ainda não muito aperfeiçoado é capaz, através da sua simplicidade, de dar a conhecer algumas características do betão, de modo a ser possível perceber a qualidade do material para avaliar a sua durabilidade, isto é, é um ensaio que parece demonstrar um enorme potencial em termos de parâmetro de durabilidade.

A absorção de água é definida como a entrada de água na rede porosa do betão devido a forças capilares, que resultam da diferença de pressão entre a superfície livre da água no exterior do betão e a sua superfície nos poros capilares, sendo dependente do diâmetro capilar. Assim sendo, quanto menor for a absorção do material, mais protegida estará a estrutura.

De modo a definir o coeficiente de absorção de água por capilaridade recorre-se, em geral, a testes baseados num procedimento que consiste em medir a velocidade de absorção da água pelo betão não saturado, imerso em água alguns milímetros (em geral 2 a 5 mm) e tem-se verificado que, de facto, a absorção capilar é proporcional à raiz do tempo segundo Hall (Coutinho, 1998):

$$A = a_0 + St^{0,5} \quad (3.1)$$

Onde,

A – quantidade de água absorvida por unidade de área da secção em contacto com a água, desde o início do ensaio, em mg/mm^2 (ou $\text{mm}^3/(\text{mm}^2 \times \text{min}^{0,5})$).

a_0 – água absorvida inicialmente pelos poros na superfície de contacto (mg/mm^2).

S – coeficiente de absorção em $\text{mg}/(\text{mm}^2 \times \text{min}^{0,5})$, $\text{mm}/\text{min}^{0,5}$ ou $\text{mm}/\text{h}^{1/2}$.

Nos ensaios de absorção por capilaridade verifica-se que a absorção é elevada se os capilares são maiores e mais lenta se são de dimensões mais reduzidas e portanto poder-se-á inferir na qualidade do mesmo de acordo com os resultados obtidos para a absorção ou coeficiente de absorção (Coutinho, 1998). Na fig.3.1 é possível observar uma possível classificação do betão preconizado pela Taywood Engineering Ltd, com duração de 270 minutos.

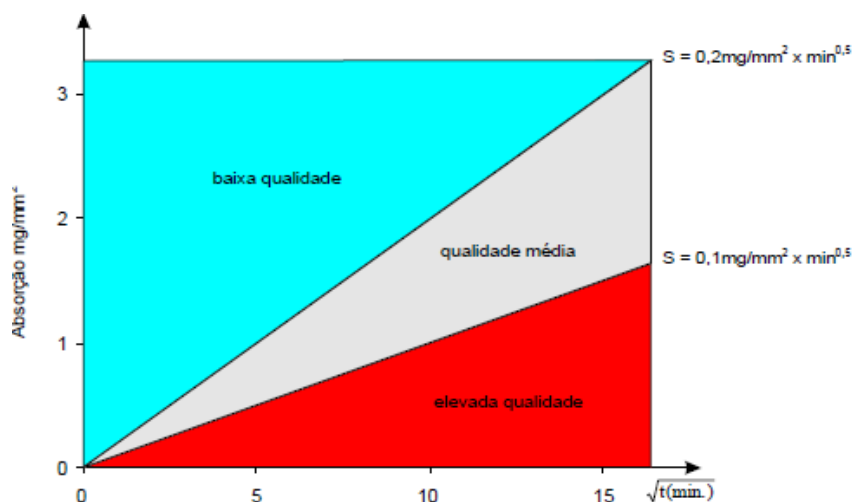


Fig.3.1 – Qualidade do betão em função do coeficiente de absorção S (Coutinho, 1998).

3.2. ENSAIOS DE CAPILARIDADE

3.2.1. ENSAIOS DO LNEC E393

Esta especificação define absorção de água por capilaridade como sendo a diferença entre a massa do provete de betão endurecido que esteve com uma das faces em contacto com a água durante um determinado tempo e a massa do provete seco, dividida pela área da superfície em contacto com a água.

Pode também ser avaliada pela altura média da ascensão capilar medida perpendicularmente à face do provete que se encontra em contacto com a água.

3.2.1.1. Tipos de Provete

Os provetes a utilizar neste ensaio tem que ter um volume mínimo de $0,001\text{m}^3$, secção quadrada ou circular e se possível uma superfície não inferior a $10\,000\text{mm}^2$, a sua altura deverá ser de pelo menos o dobro da aresta ou do diâmetro que deve ser de preferência de 150 mm.

3.2.1.2. Preparação dos Provetes

Provetes moldados segundo a especificação NP-EN 12390-1 ou obtidos por corte de um elemento de betão endurecido.

A idade mínima do betão deverá ser de 28 dias uma vez que a idade do betão e o modo de conservação podem afectar os resultados dos ensaios.

A secagem dos provetes deverá ser feita em estufa a uma temperatura de $40\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 14 dias.

3.2.1.3. Procedimento

Para se efectuar o ensaio segundo esta especificação é necessário:

- Encher um tabuleiro com água até que o nível atinja $5\pm 1\text{mm}$ acima da face inferior do provete, cobrir o tabuleiro e o provete com uma campânula e manter o nível de água constante ao longo do ensaio.
- Posicionar o provete de modo a que seja a face menor que fica em contacto com a água.
- Fazer medições ao fim de T_i igual a 3, 6, 24 e 72 horas a contar desde o momento da colocação do provete em contacto com a água. Para efectuar as medições, retirar o provete do tabuleiro, permitindo que a água escorra do provete e colocá-lo sobre uma base não absorvente durante 60 ± 5 segundos.
- Efectuar as pesagens atendendo a que M_i é a massa do provete no tempo T_i .
- Determinar no mesmo tempo T_i a altura de água absorvida por capilaridade acima da face inferior do provete, para provetes prismáticos a medição é feita ao longo do eixo vertical de simetria das quatro faces laterais e para os cilindros ao longo de quatro geratrizes igualmente espaçadas.

3.2.1.4. Resultados

A absorção por capilaridade é calculada dividindo o aumento de peso ($M_i - M_0$) pela área da face inferior do provete que esteve em contacto com a água, é expressa em g/mm^2 .

A altura da ascensão capilar é obtida através da média aritmética das 4 alturas medidas ao longo da superfície lateral dos provetes, expressa em mm.

3.2.2. BALAYSSAC ET AL.

Ensaio baseado na proposta de Hall para a modelação do fenómeno da absorção de água em argamassas e betões, onde é usada uma relação linear entre a massa da água absorvida e a raiz quadrada do tempo, como apresentado na expressão 3.1.

Neste ensaio é também possível perceber qual a influência da classe do betão e da cura nos resultados.

3.2.2.1. Tipos de Provete

Os provetes devem ser cilíndricos de 12 cm de diâmetro e 10 cm de altura com as faces laterais revestidas por folha de alumínio auto-adesiva que força a água a adoptar um caminho uni-axial e evita a evaporação de água por essas faces.

3.2.2.2. Preparação dos Provete

As únicas referências à preparação dos provetes são que a descofragem deve ser feita ao fim de um dia e que os provetes devem ser conservados a 20°C e 60% de humidade desde o 3º ao 28º dia e nas 24 horas que antecedem o ensaio, as amostras são condicionadas a 40°C.

3.2.2.3. Procedimento

Proceder ao enchimento de um tabuleiro de água com 1 cm de altura mantendo esse nível constante ao longo do ensaio.

A massa de água absorvida vai ser determinada por pesagens sucessivas das amostras.

3.2.2.4. Resultados

Os resultados são apresentados em forma de gráfico que relaciona a massa de água absorvida (kg/m^2) e a raiz quadrada do tempo ao longo de 24 horas.

O coeficiente de absorção é o declive da recta obtida por regressão linear que é a recta que melhor aproxima todos os valores.

3.2.3. TRL – TRANSPORT RESEARCH LABORATORY UK

A principal diferença neste ensaio é que os provetes são sujeitos a ciclos de molhagem e secagem que tem como propósito tornar o ensaio mais representativo das condições locais.

3.2.3.1. Tipos de Provete

As exigências no que refere ao tipo de provete neste ensaio prendem-se com a obrigatoriedade dos provetes serem cúbicos de 100x100x100mm, é a face lateral do provete que fica em contacto com a água e para isolar as quatro faces em contacto com a face imersa são-lhes aplicadas 2 camadas de resina epóxida.

Podem ser usados provetes retirados “in situ” e neste caso os provetes são circulares e a resina epóxida é aplicada ao longo de toda a superfície lateral.

3.2.3.2. Preparação dos Provete

Provetes moldados ou obtidos por corte de um elemento de betão endurecido.

Cura do betão durante 4 dias antes da colocação da protecção em Hessien (tipo de tecido), durante 3 dias se for em polietileno, posteriormente os provetes são deixados 28 dias num local ao ar livre protegido do sol.

3.2.3.3. Procedimento

Os provetes são colocados totalmente imersos ou só uma face em contacto com a água durante um período de tempo que pode ir desde os 30 minutos às 72 horas.

Normalmente um ciclo é composto por 2 dias de molhagem seguido de 12 dias de secagem (pode diferir devido às alterações climáticas da zona em estudo).

Antes do betão ser pesado é necessário que a superfície de sucção seja limpa com uma esponja húmida de forma a remover o excesso de água. A absorção de água é medida através da pesagem dos provetes, aos quais é necessário fazer pelo menos 5 medições nas primeiras 4 horas de molhagem, sendo que a partir desse momento as medições de ganho de peso são menos frequentes.

3.2.3.4. Resultados

O valor da água absorvida é usado para calcular o coeficiente de absorção que é definido pela razão entre o volume de água absorvida por unidade de área da superfície de sucção, dividido pela raiz quadrada do tempo de absorção (normalmente 4 horas).

3.2.4. NISTIR 6395 – UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE TECHNOLOGY ADMINISTRATION

O ensaio proposto consiste em colocar uma face do provete em contacto com a água monitorizando o aumento do peso deste.

Para eliminar efeitos de evaporação todas as faces que não estão em contacto com a água são revestidas com resina epóxida. Na versão Sueca deste ensaio, as faces não são revestidas mas utiliza-se uma caixa tapada para reduzir os efeitos da evaporação.

De modo a evitar o excesso de lixiviação do hidróxido de cálcio a partir do betão, é recomendado a utilização de uma solução saturada de hidróxido de cálcio como fluido de absorção.

3.2.4.1. Tipos de Provetes

Preferencialmente os provetes utilizados são cilíndricos com espessura mínima de 35mm. Podem ser usados provetes rectangulares, no entanto a selagem das faces com a resina epóxida é mais difícil de efectuar.

Devem ser utilizados pelo menos três provetes em cada teste.

3.2.4.2. Preparação dos Provetes

Neste ensaio os provetes tem a particularidade de terem que ser serrados de modo a terem uma face plana.

3.2.4.3. Procedimento

Para se efectuar o ensaio deve ser garantido que a temperatura ambiente durante o ensaio deverá ser de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, as dimensões dos provetes devem ser medidos com uma exactidão de 0.1 mm, a massa dos provetes são medidas imediatamente antes do ensaio com uma exactidão de 0.01g.

Os provetes são colocados numa lâmina de água de no máximo 3 mm de profundidade, mantendo este nível constante ao longo de todo o ensaio.

A massa do provete deve ser medida em intervalos de 1, 5, 10, 20 e 30 minutos e depois todas as horas até às 6 horas e posteriormente ao fim de 24 horas.

O excesso de água da superfície em contacto com esta deve sempre ser removido antes de cada pesagem, utilizando para esse fim um pano húmido.

3.2.4.4. Resultados

A água absorvida por unidade de área, W_s , é dada pela expressão (3.2):

$$W_s = \frac{[M(t) - M_i]}{A} \text{ é dada em g/m}^2 \quad (3.2)$$

Onde,

$M(t)$ – Massa do provete no tempo t em g,

M_i – Massa inicial do provete em g,

A – Área da superfície em contacto com a água.

De forma a se efectuar uma melhor avaliação dos resultados, elabora-se um gráfico com os valores da quantidade de água absorvida pela raiz quadrada do tempo, e obtendo-se o coeficiente de absorção como sendo o declive da recta obtida por regressão linear.

3.2.5. EN 1015-18

O ensaio caracterizado na especificação EN 1015-18 é um ensaio utilizado em argamassas.

3.2.5.1. Tipos de Provetes

Devem ser utilizados no mínimo três provetes prismáticos com dimensão 40x40x160 mm.

3.2.5.2. Preparação dos Provetes

Depois de realizada a amassadura dos provetes é necessário que se realize o processo de cura que dependendo do material que está a ser utilizado, será de tempo diferente (A3.1).

Quando termina o processo de cura, é necessário proceder à secagem dos provetes numa estufa ventilada a $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, até atingirem massa constante. A massa constante é atingida se, durante o processo de secagem, em duas pesagens sucessivas com 24 horas de intervalo, a perda de massa entre as duas determinações não seja superior a 0,2% da massa total.

Proceder ao isolamento dos provetes com parafina ou resina sintética com ponto de fusão superior a 60°C .

3.2.5.3. Procedimento

Colocar os provetes num tabuleiro com a superfície livre em contacto com a água a uma profundidade de 5 a 10 mm.

Activar o dispositivo de cronometragem e se efectuar pesagens aos 10 (M1) e aos 90 (M2) minutos, se se tratar de uma argamassa de renovação os únicos valores das pesagens são o inicial (M0) e às 24 horas (M3).

É necessário garantir sempre o nível de água constante no tabuleiro de modo a manter sempre a superfície de contacto com a água dos provetes em contacto com a mesma. No fim do ensaio é necessário abrir por compressão diametral as amostras para garantir que estão totalmente saturadas. No caso afirmativo dever-se-á, pesar as duas peças juntas, se não estiverem totalmente saturadas é necessário repetir o ensaio com uma nova amostra.

3.2.5.4. Resultados

O coeficiente de absorção de água, C , é, por definição, igual à inclinação da recta que une os pontos representativos das medições realizadas aos 10 (M1) e os 90 (M2) minutos e calculando-se com base na fórmula 3.3.

$$C = 0,1 \times (M2 - M1) \text{ Kg/(m}^2 \cdot \text{Min}^{1/2}) \quad (3.3)$$

Para argamassas de reparação, a absorção de água é medida em kg/m^2 após 24 horas, utilizando a expressão 3.4.

$$C = 0,625 \times (M3 - M0) \text{ kg/m}^2 \quad (3.4)$$

No cálculo dos valores individuais do coeficiente de absorção de água (C), utilizar uma aproximação de $0,05 \text{ Kg/m}^2$, no cálculo do valor médio do coeficiente de absorção de água a partir de valores individuais, deve ser feita uma aproximação de $0,1 \text{ Kg/(m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$.

3.3. CONCLUSÕES

Os ensaios de absorção de água por capilaridade em betão são uma importante ferramenta no estudo da sua durabilidade, no entanto ainda não foi possível chegar a consenso sobre o melhor método de efectuar o ensaio.

Cada norma utiliza características muito diferentes umas das outras e muito específicas.

O que se tenta efectuar neste trabalho é um aperfeiçoamento da técnica de ensaio e tipos de provetes considerando alguns aspectos de cada método anteriormente descrito mas sobretudo do ensaio descrito na E LNEC 393 e no de *Balayssac et al.* considerando o modelo de *Hall*, com o objectivo de caracterizar o betão através dos resultados obtidos, em termos de rede porosa.

3.4. BIBLIOGRAFIA

- Butler, A. (1997). *Capillary absorption by concrete*. Concrete, Julho/Agosto 1997, 23,24 e 25
- Hall, C. (1989). *Water sorptivity of mortars and concretes: a review*, In *Mag. Concrete Res.*41, 51-61.
- Bentz, D., Clifton, J., Ferraris, C., Garboczi, E. (1999). *Transport Properties and Durability of Concrete: Literature Review and Research Plan*. NISTIR 6395, United States Department of Commerce.
- Ballayssac, J., Detriche, Ch., Grandet, J. (1993). *Intérêt*. Designação da acta de l'essai d'absorption d'eau pour la caractérisation du béton d'enrobage, Materials and Structures, 1993, 26, 226-230.
- E393. *Determinação da absorção de água por capilaridade*. Especificação LNEC.
- EN 1015-18 (2002). *Methods of test for mortar for masoury – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. European Standard, 2002.
- Coutinho, J. Sousa (1998). *Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento de Cofragem*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.

4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objectivo o aperfeiçoamento do ensaio de capilaridade em betões, baseado sobretudo na especificação do LNEC e no modelo de Hall que tem sido utilizada em vários programas de investigação, já de forma mais elaborada.

A primeira fase do presente trabalho consistiu em procurar o melhor método de isolamento para as faces laterais que vão estar em contacto com a água de modo a que, a água seja absorvida exclusivamente pela face que está completamente em contacto com a água. Para isso utilizaram-se provetes, produzidos anteriormente, noutro programa de investigação, e secos em estufa até atingirem massa constante a 40°C, de dimensão 100x100x50 mm.

Numa segunda fase, foram realizados ensaios com provetes, de uma argamassa auto-compactável, de várias dimensões, usando a face lateral e a face inferior de cofragem, diferentes quantidades de isolamento e diferentes temperaturas de secagem de modo a compreender o efeito destes aspectos no coeficiente de absorção. Para a realização destes ensaios foram efectuadas 28 amassaduras com as composições descritas em anexo A.4.1

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados por pesagens dos provetes aos 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 420 e 1440 minutos.

Embora o objectivo final seja desenvolver um método robusto para avaliar a absorção por capilaridade em betão, o estudo inicia-se com este programa de investigação, a nível apenas de argamassas, com o objectivo de, no futuro e numa fase final se poder transpor o ensaio para o betão. Evidentemente que estudar a absorção em argamassas apresenta inúmeras vantagens, nomeadamente a dimensão dos provetes.

4.2. MÉTODOS DE ISOLAMENTO DOS PROVETES

De modo a seleccionar o método ideal de isolamento dos provetes a utilizar durante os ensaios foram analisados quatro métodos; a fita de alumínio autocolante, a tinta epóxida, parafina e fita impermeável.

Foram utilizados doze provetes, produzidos anteriormente, de dimensão 100x100x50 mm, três por cada método de isolamento proposto para análise, secos até atingirem massa constante a 40°C.

4.2.1. MATERIAIS

Para a realização dos ensaios de selecção do método de isolamento como se verá em seguida foram utilizados vários materiais entre os quais, fita larga castanha e papel aderente em todos os métodos.

No método da utilização da parafina foram também utilizados parafina, tabuleiro de aquecimento, trincha e pincel fino. Para utilizar a fita de alumínio autocolante foi necessária além da fita larga castanha e do papel aderente, fita de alumínio autocolante. Para o método da tinta epóxida foi necessário acrescentar à lista de materiais, diluente, rolo de pintor pequeno, dois frascos de tinta epóxida, recipiente de mistura e colheres. Para o método da fita impermeável, o único material a acrescentar aos materiais comuns a todos os métodos foi a fita impermeável.

4.2.2. PROCEDIMENTO

4.2.2.1 Fita de Alumínio

Para a realização dos ensaios de comparação dos vários tipos de isolamento foram utilizados 3 provetes de teste onde se colou a fita de alumínio nas paredes laterais, como se demonstra na fig.4.1.

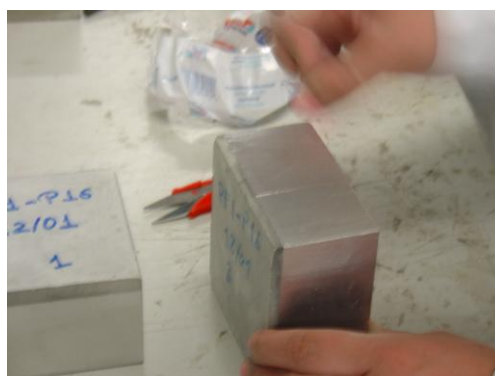


Fig.4.1 – Colagem da fita de alumínio.

Cobriu-se posteriormente a face superior do provete com papel aderente fixado com fita larga castanha de modo a que, a única água a entrar no provete fosse por absorção capilar pela face inferior em contacto com água, como demonstra a fig.4.2.



Fig.4.2 – Provete pronto a ser ensaiado.

Para efectuar o ensaio colocaram-se os 3 provetes numa tina de água com 3mm de altura (fig.4.3) sendo os provetes pesados aos 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 420 1440 minutos de modo a registar os valores para posteriormente se calcular a curva de absorção do provete, e obter o coeficiente de absorção. Note-se que a tina de água está preparada para manter a altura de água constante através de um sistema de entrada e saída de água.

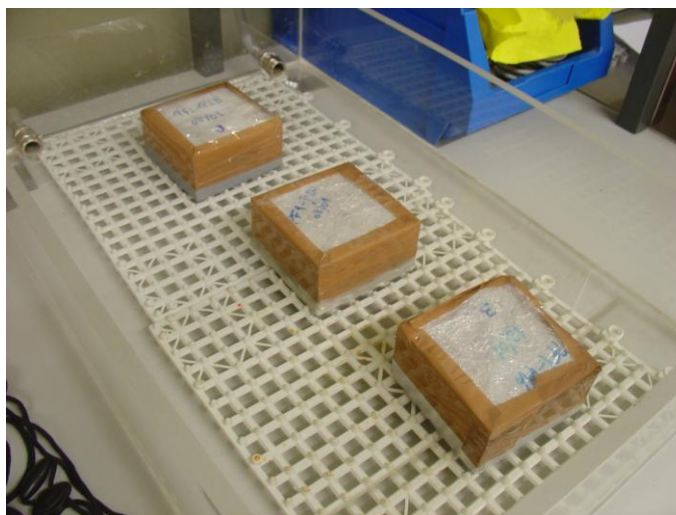


Fig.4.3 – Ensaio a decorrer.

4.2.2.2 Tinta Epóxida

Este método de isolamento dos provetes requer uma atenção especial, em que a tinta e o diluente são misturados em partes iguais (1:1), fig.4.4, misturando até se obter uma mistura homogénea, fig.4.5.



Fig.4.4 – Início preparação da tinta epóxida.



Fig.4.5 – Mistura homogénea.

De modo a facilitar a aplicação da tinta isolou-se as partes onde esta não seria aplicada com fita de papel de pintor e utilizou-se um rolo para efectuar a aplicação da tinta sobre o provete, fig.4.6.



Fig, 4.6 – Aplicação da tinta epóxida

4.2.2.3 Parafina

Devido a ser um método de difícil aplicação e pouco preciso, em primeiro lugar foi necessário isolar as zonas onde não seria necessário aplicar a parafina com fita de papel de pintor, fig.4.7, para posteriormente, com a ajuda de uma trincha, aplicar a parafina previamente aquecida, fig. 4.8 e 4.9.



Fig.4.7 – Isolamento das partes a aplicar Parafina.



Fig.4.8 – Aquecimento da Parafina para aplicação.



Fig.4.9 – Aplicação da Parafina.

4.2.2.3 Fita Impermeável

Para o estudo deste método de isolamento foi necessário em primeiro lugar isolar as faces laterais dos provetes que estão em contacto com a água com fita impermeável.



Fig. 4.10 – Provetes a ser ensaiado.

Sendo este tipo de fita pouco maleável é necessário ter um cuidado redobrado na sua aplicação.

Foi realizado o ensaio nos mesmos moldes dos métodos anteriores, efectuando as pesagens aos 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 420 e 1440 minutos.



Fig. 4.11 – Ensaio a decorrer.

Depois de terminar o ensaio retirou-se a fita isolante de modo a observar a altura de água nas faces laterais dos provetes, a partir da qual foi possível avaliar a qualidade do método de isolamento.



Fig.4.12 – Provete após ensaio.

4.2.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE APERFEIÇOAMENTO DO MÉTODO DE ISOLAMENTO DOS PROVETES

Todos os resultados obtidos dos ensaios de absorção por capilaridade foram tratados e analisados informaticamente (Excel) relacionando a massa do provete com a hora a que foi pesado depois de estar a decorrer o ensaio, de modo a se obter rectas de regressão dos resultados obtidos e através do seu R^2 constatar qual o melhor método, uma vez que se sabe que nas primeiras 4,5h o crescimento da recta que aproxima todos os pontos é aproximadamente linear.

O anexo A.4.2 contem todos os resultados e dados obtidos no ensaio. Na figura 4.13 do presente capítulo é possível observar os gráficos referentes a cada ensaio onde para cada método foram utilizados 3 provetes.

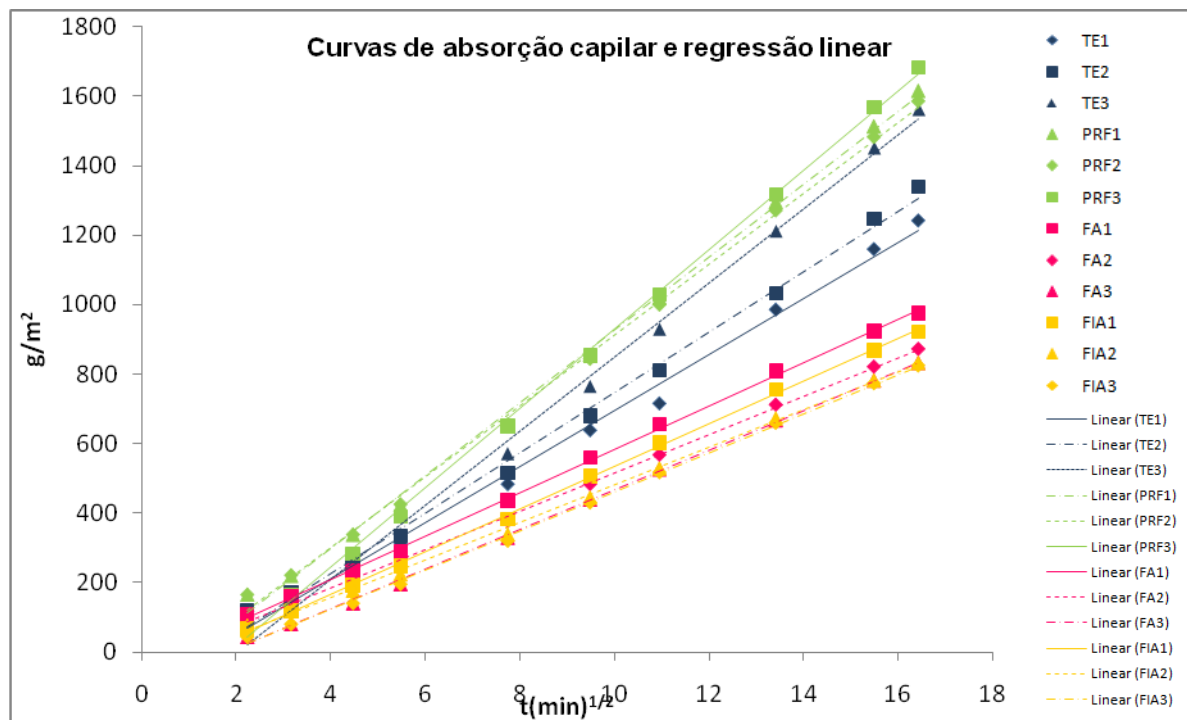


Fig.4.13 – Gráficos de resultados dos métodos de impermeabilização dos provetes.

Tabela 4.1 – Coeficientes de absorção dos métodos de isolamento.

Método de isolamento das faces laterais	Referência do provete	R ²	Média do coeficiente de absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Tinta Epóxida (TE)	TE1	0,994	0,708	0,105
	TE2	0,996		
	TE3	0,997		
Parafina (PRF)	PRF1	0,998	0,829	0,049
	PRF2	0,998		
	PRF3	0,999		
Fita de alumínio autocolante (FA)	FA1	0,999	0,451	0,029
	FA2	0,999		
	FA3	0,999		
Fita impermeável (FI)	FI1	0,999	0,443	0,028
	FI2	0,999		
	FI3	0,999		

Através da análise dos gráficos, e com auxílio da tabela 4.1, foi possível constatar que os dois melhores métodos para fazer o isolamento das faces laterais dos provetes são o isolamento com fita impermeável e o método da fita de alumínio autocolante, uma vez que o R^2 é o mais próximo de 1 e o desvio padrão mais baixo. No entanto, para o método da fita impermeável, a complexidade de aplicação da fita é grande, uma vez que de modo a ficar correctamente aplicada tem que ser colocada ainda com os provetes quentes (logo depois da saída da estufa) e a colagem da fita pode ser muito influenciada por factores humanos. Deste modo foi escolhido como método de isolamento das faces em contacto com a água a utilização da fita de alumínio autocolante.

4.3. ENSAIO DE CAPILARIDADE

4.3.1. MATERIAIS DAS AMASSADURAS

- Cimento Portland (CEM I) da classe 42.5R, de acordo com a regulamentação europeia produzido pela SECIL, cuja composição química está representada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Composição química do cimento utilizado (disponibilizada pela Secil)

Perda ao fogo	P.F.	2.85%
Resíduo insolúvel	R.I.	1.12%
Óxido de silício	SiO ₂	20.41%
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	4.74%
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	3.08%
Óxido de cálcio	CaO	62.28%
Óxido de magnésio	MgO	1.90%
Sulfatos	SO ₃	3.11%
Cloretos	Cl ⁻	0.0146%
Cal livre		1.01%

- Areia normalizada CEN (Comité Europeu de Normalização).

- Água destilada.
- Fíler calcário, fornecido pela Comital.
- Superplastificante Sika ViscoCrete 3005, cumpre os requisitos da norma NP EN 934-2:T3.1/3.2.

É isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.

4.3.2. ENSAIOS REALIZADOS

4.3.2.1. Ensaio de Espalhamento de argamassas

Este ensaio define a capacidade do betão se deformar quando sujeito apenas à acção do peso próprio e da resistência oferecida pelas paredes do molde.

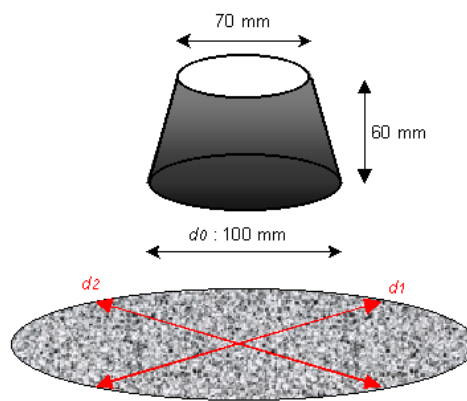


Fig.4.14 – Ensaio de espalhamento.

Este ensaio consiste em encher com argamassa um molde de forma tronco-cônica com as dimensões interiores apresentadas na figura 4.14, levanta-lo e medir o diâmetro médio da área de espalhamento resultante após a cessação do movimento (Nunes, 2001).

O diâmetro médio de espalhamento serve para calcular o índice de deformabilidade G_m (área de espalhamento relativa) recorrendo à expressão 4.1.

$$G_m = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 - 1,0 \quad (4.1)$$

Onde,

d – média aritmética entre as d_1 e d_2 (ver figura 4.14),

d_0 – dimensão da abertura inferior do funil (ver figura 4.14).

Ozawa et al. investigaram a relação entre a auto-compactabilidade do betão fresco e da argamassa utilizando os índices G_m e R_m e verificaram que uma argamassa com $G_m=5,0$ e $R_m=1,0$ (ponto 4.3.2.2) é a mais adequada para conseguir um betão auto-compactável (Takada et al., 1998)

4.3.2.2. Ensaio de fluidez de argamassas

O ensaio de fluidez de argamassas trata-se de um ensaio, semelhante ao “Ensaio de fluidez do betão” mas realizado com um funil de dimensões reduzidas, ver ponto 2.2.6.2.

O tempo de escoamento serve para determinar um índice de viscosidade R_m (tempo de escoamento relativo), calculado à custa da expressão 2.2.

$$R_m = \frac{10,0}{t} \quad (4.2)$$

Onde,

t – tempo em segundos que a argamassa demora a percorrer o funil.

O valor de $R_m=1,0$ é o considerado o mais adequado para uma argamassa auto-compactável (ponto 4.3.2.1).

4.3.3. PREPARAÇÃO DO ENSAIO

Escolhido o método de isolamento mais eficaz para isolar as faces dos provetes que não estão em contacto com a água, procurou-se analisar uma serie de aspectos relacionados com o procedimento do ensaio, tais como a forma dos provetes, dimensões, temperaturas de secagem em estufa e diferença entre a absorção pela face lateral e a inferior de cofragem dos provetes, como resumido na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Tipos de provetes utilizados.

Protecção Total (PT)	6 – 40x40x40	Faces laterais totalmente protegidas com a fita isolante de água e a face superior com papel aderente
	6 – 70x70x50	
	6 – 100x100x50	
	6 – 150x150x50	
Protecção Parcial (PP)	6 – 40x40x40	Faces laterais protegidas com 2 cm de fita isolante
	6 – 70x70x50	
	6 – 100x100x50	
Sem Protecção (SP)	6 – 40x40x40	Ausência de qualquer tipo de protecção
	6 – 70x70x40	
	6 – 100x100x50	
Face lateral vs Face inferior (FLFI)	6 – 40x40x40	Os resultados dos provetes de 40x40x40 serão reaproveitados da Protecção Total
	6 – 70x70x70	
	6 – 150x150x150	
Diferentes Dimensões (DD)	6 – 40x40x40	Reaproveitamento dos resultados obtidos em PT para os provetes de 40x40x40, 100x100x50 e 150x150x50
	6 – 40x40x80	
	6 – 40x40x160	
	6 – 100x100x50	
	3 – 100x100x75	
	3 – 100x100x100	
	6 – 150x150x50	
	3 – 150x150x100	
Diferentes Temperaturas de Secagem (DT)	6 – 100x100x50 (40°C)	Reaproveitamento dos resultados obtidos em PT para os provetes de 100x100x50 (40°C)
	6 – 100x100x50 (60°C)	
	6 – 100x100x50 (80°C)	

Utilizaram-se argamassas auto-compactáveis da mesma composição referida na tabela em anexo A.4, onde também são referidos os resultados dos ensaios de espalhamento e do funil para cada amassadura efectuada.



Fig.4.15 – Procedimento de amassaduras.

Para se verificar a trabalhabilidade da argamassa efectuaram-se os ensaios de espalhamento e do funil, encontrando-se os resultados para cada amassadura no anexo A.4.1.



Fig.4.16 – Ensaio de espalhamento



Fig.4.17 – Ensaio do funil.

Em seguida, procedeu-se à colocação da argamassa nos moldes, fig. 4.18, descofrando no dia seguinte e colocando-os durante 28 dias na câmara de cura que se encontra à temperatura de 19,9°C e humidade de 99,2%, dentro de tinas cheias de água.



Fig.4.18 – Moldagem da argamassa.



Fig.4.19 – Provetes na câmara de cura.

Depois de 28 dias na câmara de cura colocaram-se os provetes a secar na estufa até atingirem massa constante, fig.4.20, tendo sido utilizadas 3 temperaturas diferentes de secagem, 40°C, 60°C e 80°C.



Fig.4.20 – Provetes na estufa.

Depois de atingirem massa constante foi necessário preparar o ensaio propriamente dito, isolando os provetes, fig.4.21, pesando-os no início do ensaio (instante 0) e colocando os provetes numa tina com 3 mm de água com água corrente, fig.4.22. A tina de água utilizada foi concebida de forma a se manter o nível de água constante e igual aos 3mm de altura. Realizaram-se então pesagens sucessivas dos provetes aos 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 270 e 1440 minutos, fig.4.23.



Fig.4.21 – Provetes isolados.



Fig.4.22 – Ensaio a decorrer.



Fig.4.23 – Exemplo de pesagem de provetes.

4.3.4. RESULTADOS

Os resultados são apresentados sob forma de gráficos, em seguida, onde é possível comparar os resultados obtidos para provetes da mesma dimensão mas com métodos diferentes de isolamento das faces laterais, diferentes temperaturas e utilização da face lateral de cofragem, uma vez que através da inclinação da recta de regressão linear de cada curva é possível perceber se o coeficiente de absorção para esse provete vai ser maior ou menor.

No gráfico da figura 4.24 é possível observar as curvas de absorção capilar e regressão linear dos provetes com dimensão de 40x40x40 mm com protecção total (vermelho), sem protecção (azul) e com protecção parcial (cor de rosa).

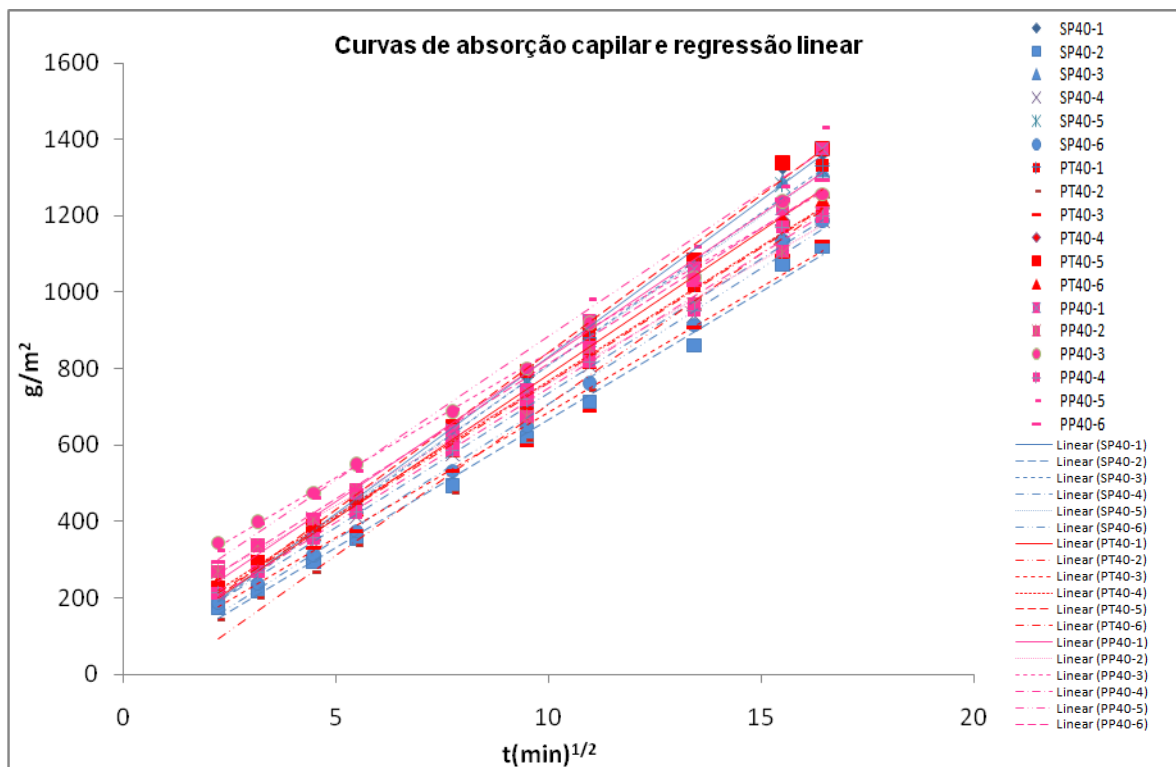


Fig.4.24 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 40x40x40 mm com protecção total, sem protecção e com protecção parcial.

No gráfico da figura 4.25 é possível observar as diferentes curvas de absorção capilar e regressão linear para provetes de 70x70x50 mm para os diferentes métodos de isolamento das faces laterais em análise.

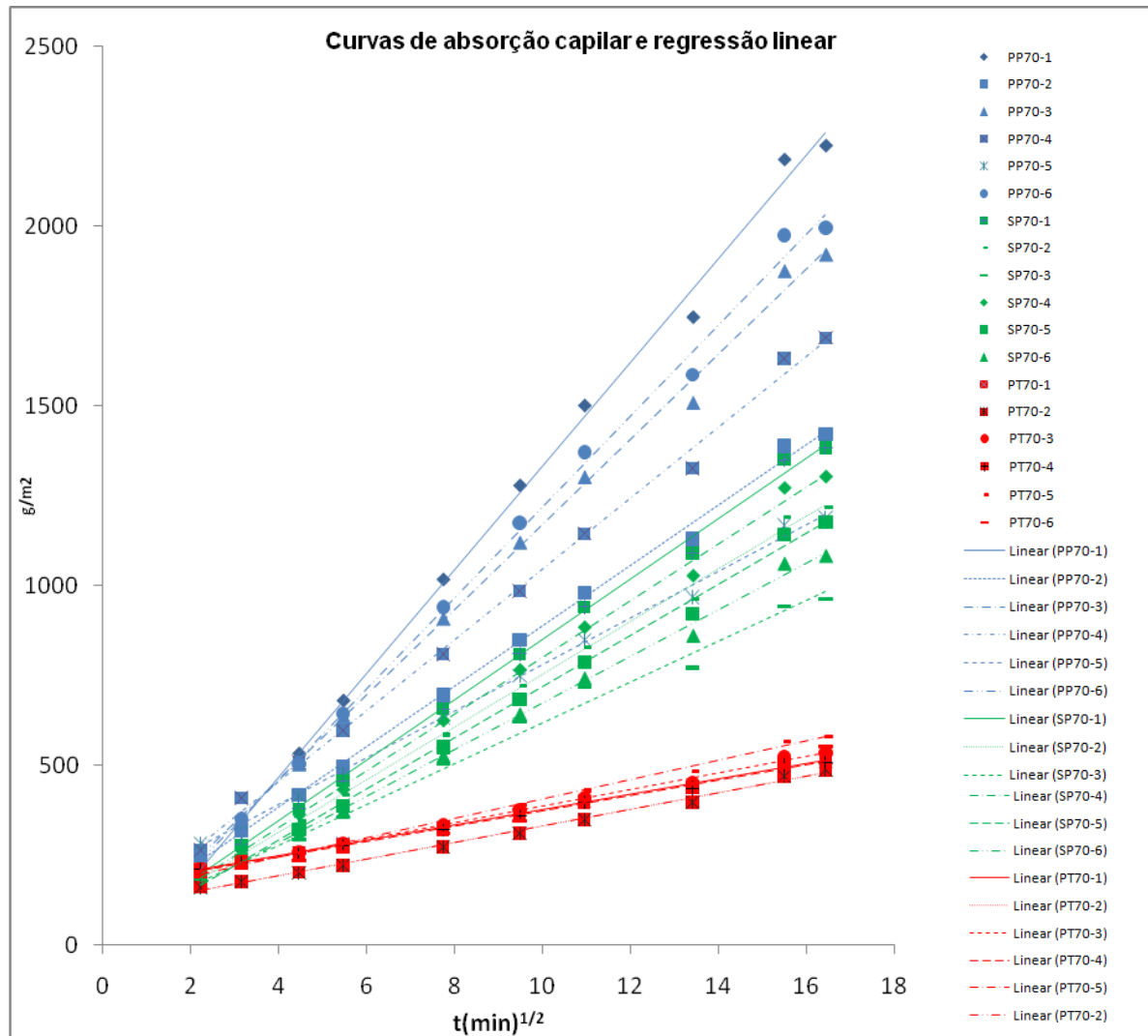


Fig.4.25 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 70x70x50 com protecção total, sem protecção e com protecção parcial.

No gráfico seguinte, fig.4.26, é possível observar a comparação entre as curvas de absorção capilar e as curvas de regressão de provetes de dimensões de 100x100x50 mm com os vários métodos de isolamento das faces laterais em estudo.

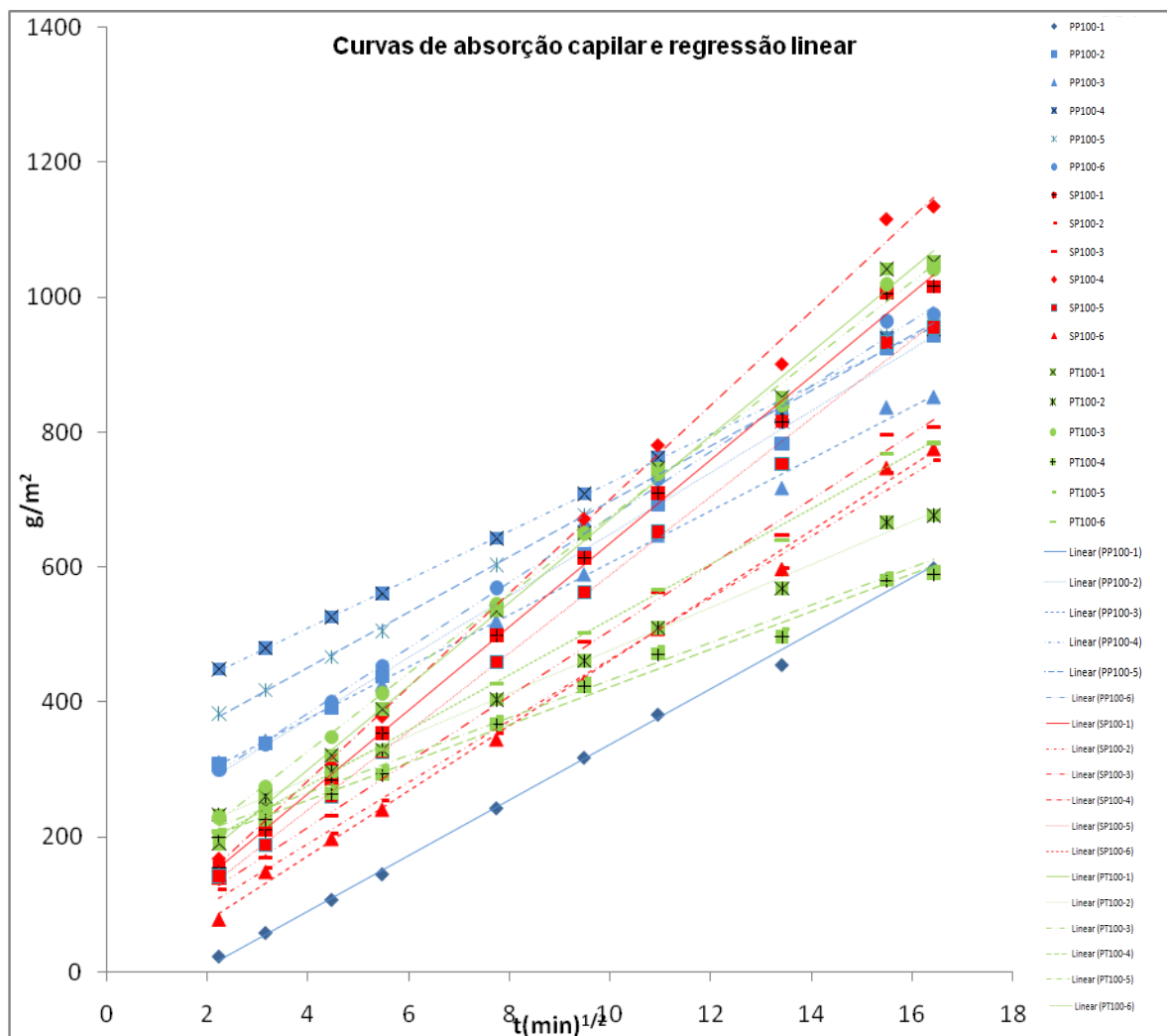


Fig.4.26 – Gráfico de comparação de resultados dos provetes de dimensões 100x100x50 com protecção total, sem protecção e com protecção parcial

Depois de analisados os resultados obtidos através de ensaios de absorção por capilaridade para diferentes métodos de isolamento das faces laterais foi possível analisar os resultados obtidos pela utilização da face lateral de cofragem como face de absorção e deste modo fazer a comparação com os resultados obtidos quando é utilizada a face inferior de cofragem, em todos os ensaios de face lateral de cofragem os provetes foram totalmente isolados.

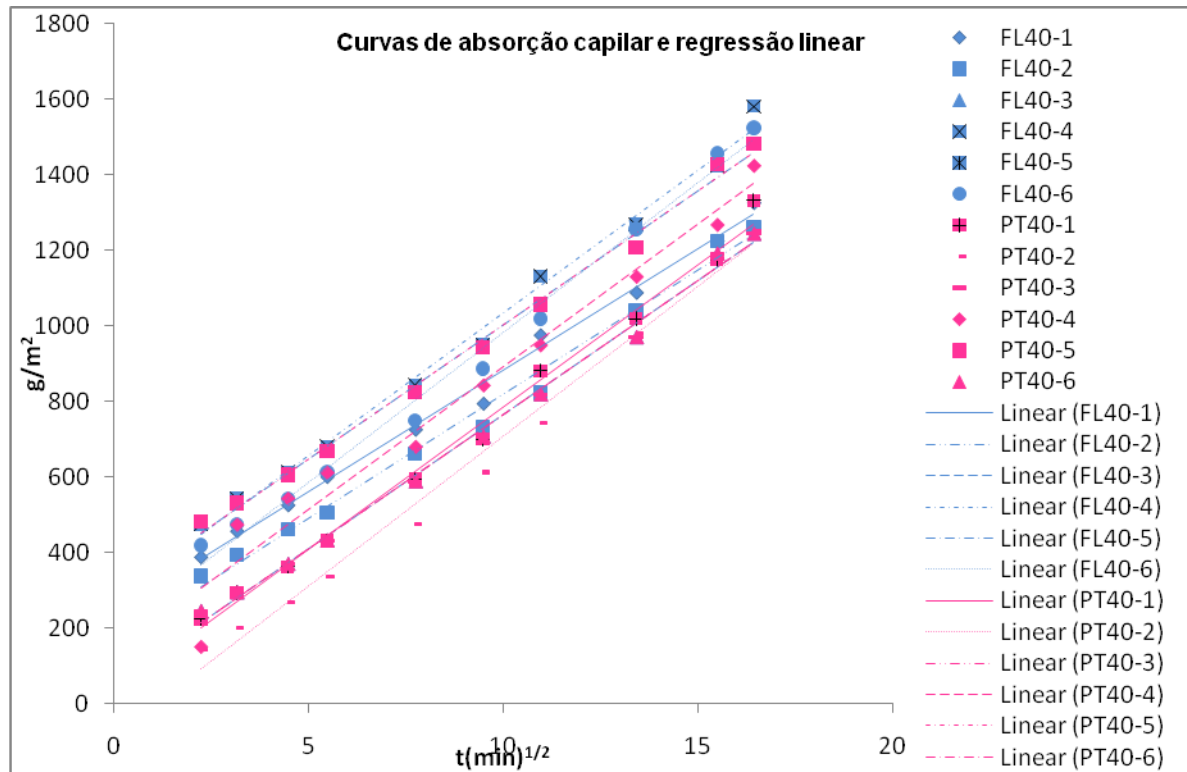


Fig.4.27 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensões 40x40x40 com protecção total.

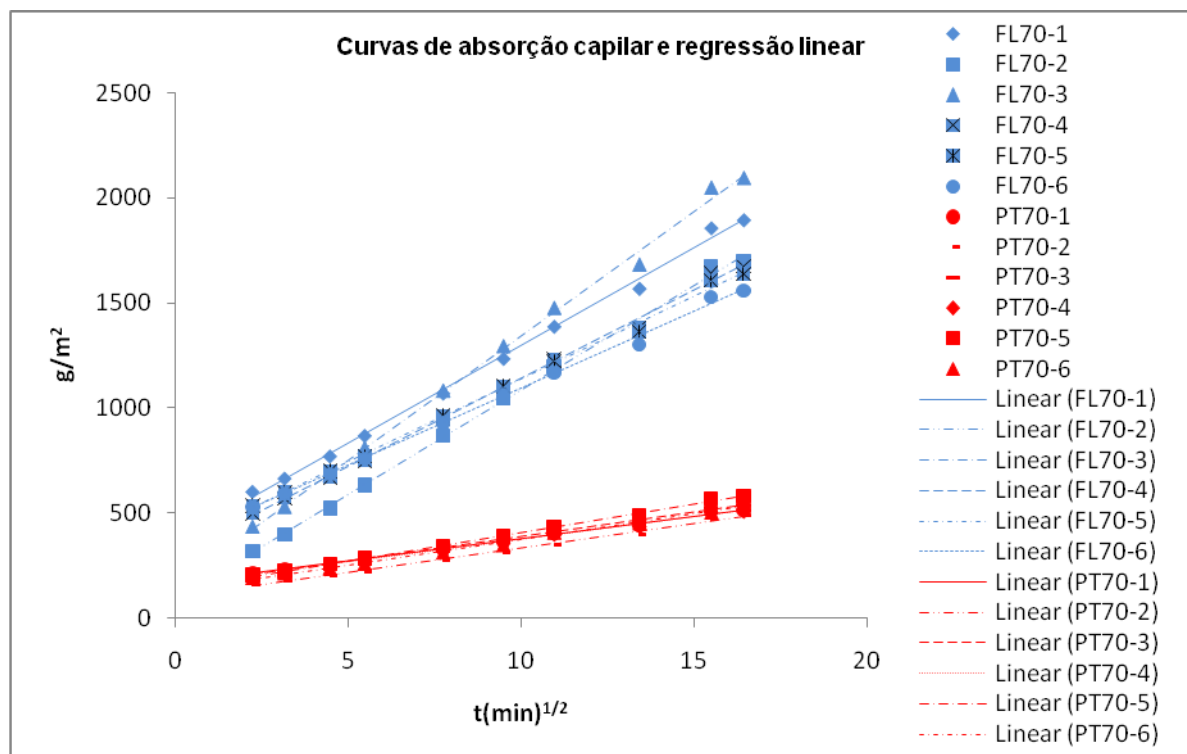
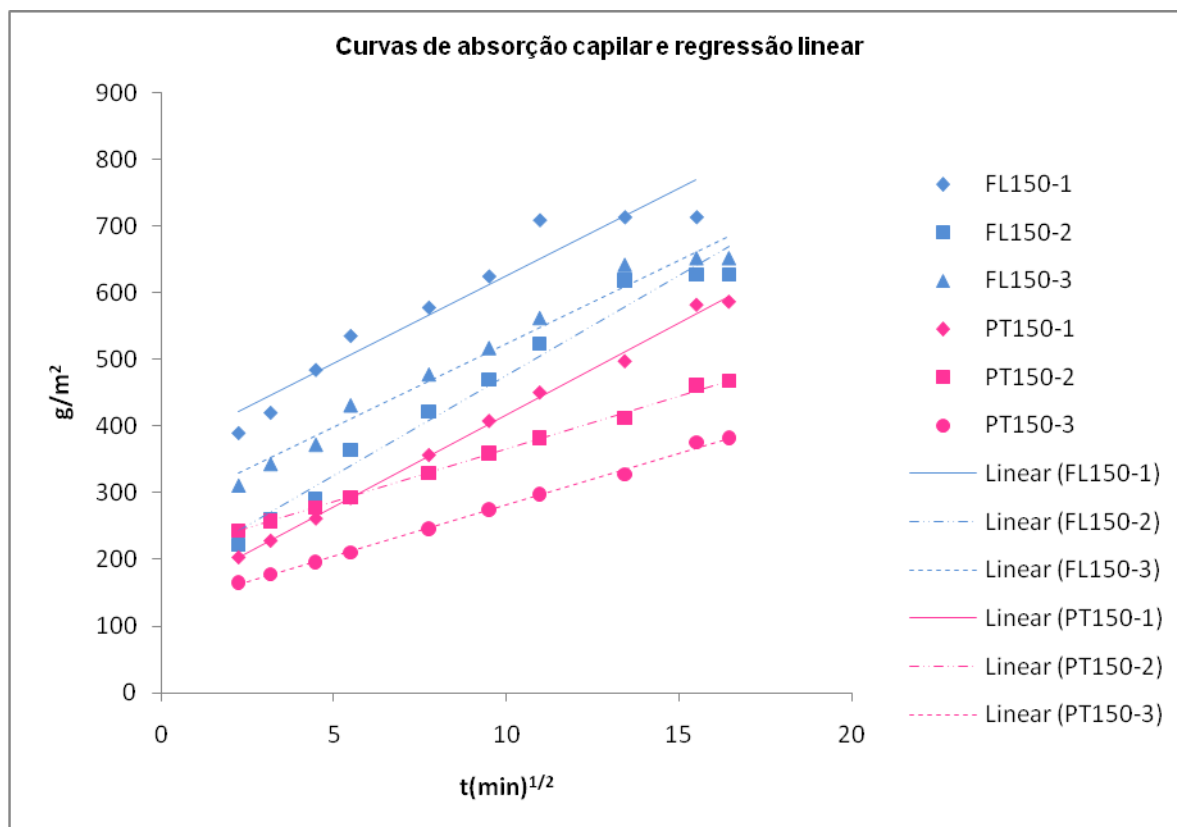
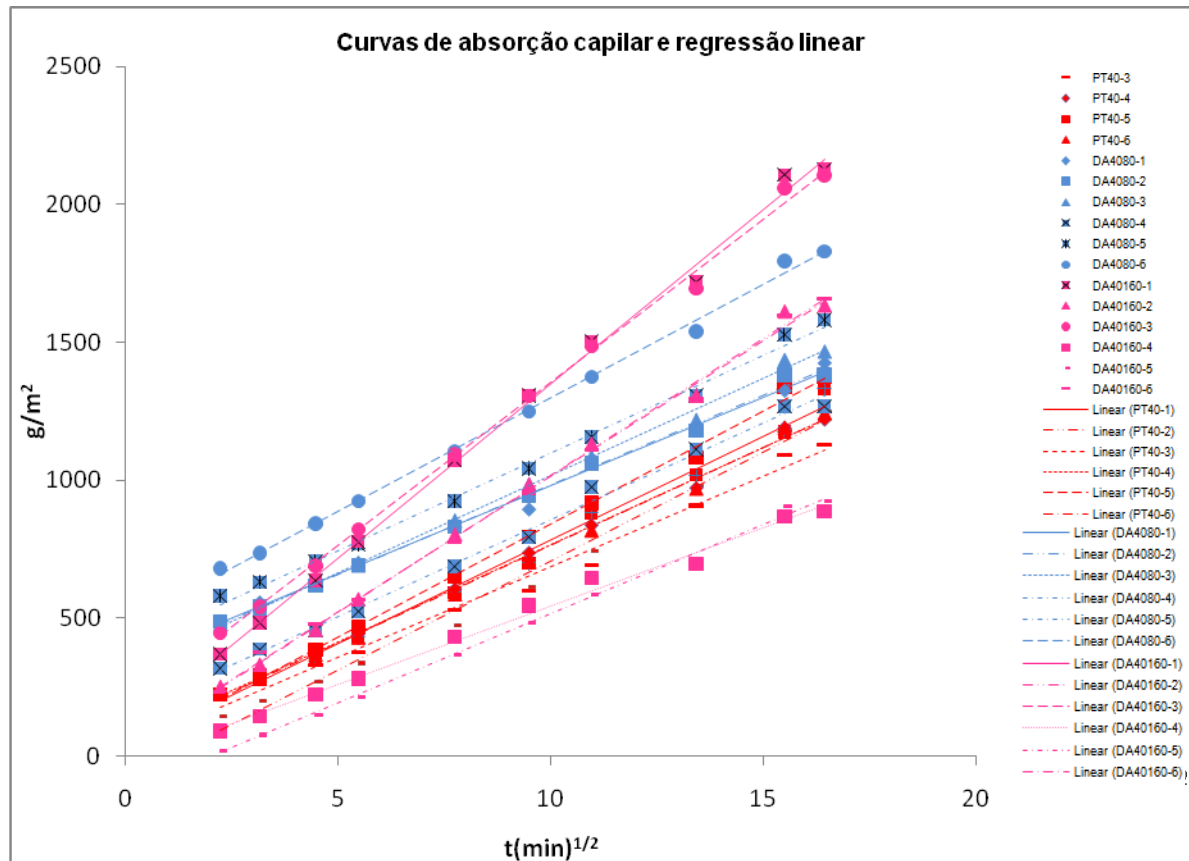


Fig.4.28 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensões 70x70x50 com protecção total.

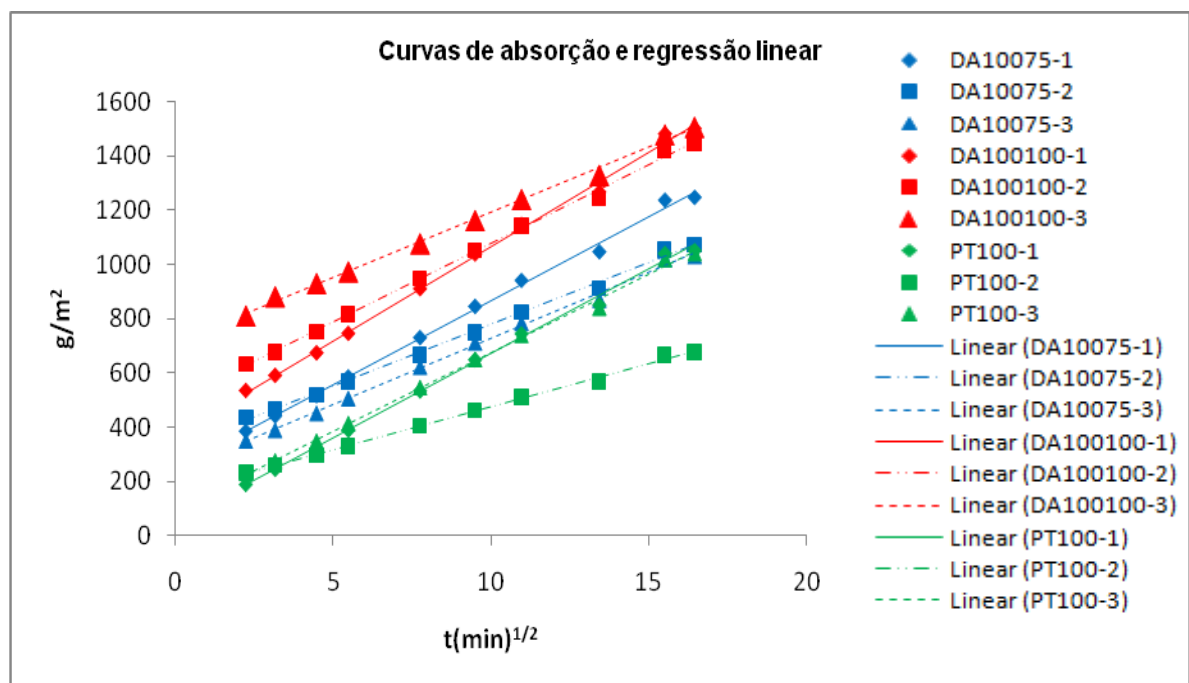


4.29 – Gráfico de comparação de resultados da utilização da face lateral e inferior de cofragem dos provetes de dimensão 70x70x50 com protecção total.

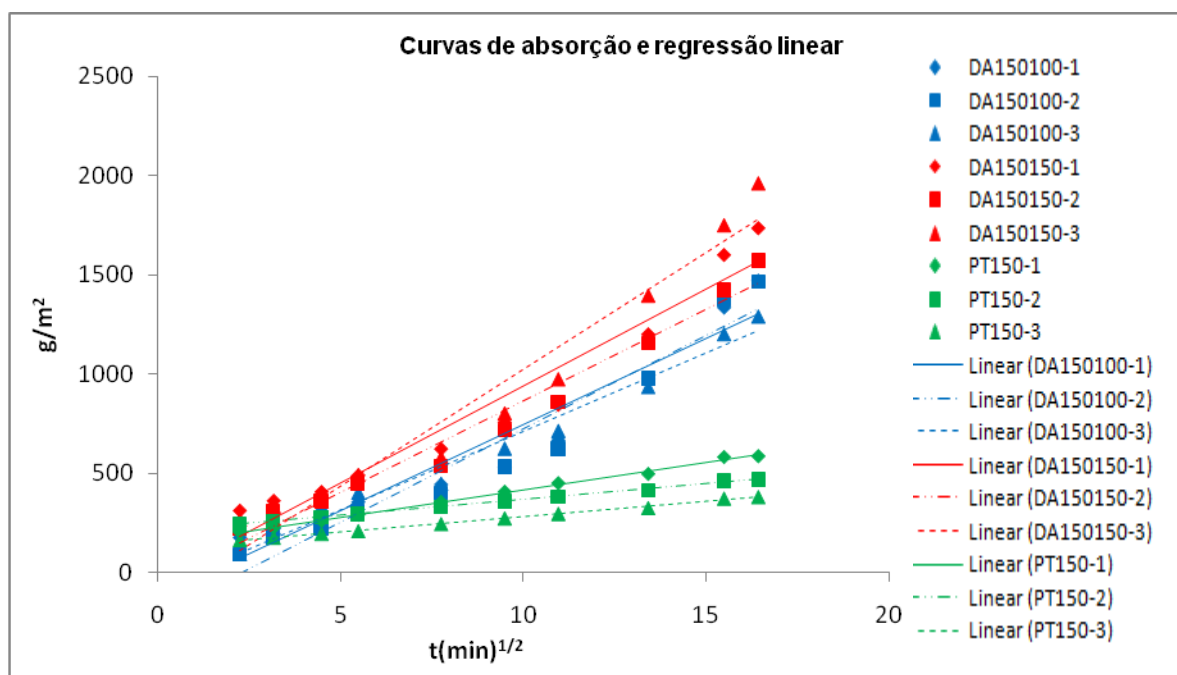
Outro parâmetro que este trabalho pretende analisar é se a altura dos provetes, com igual base em contacto com a água, influencia o coeficiente de absorção capilar. Os resultados apresentam-se nas figuras 4.30, 4.31 e 4.32.



4.30 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 40x40x40, 40x40x80 e 40x40x160.

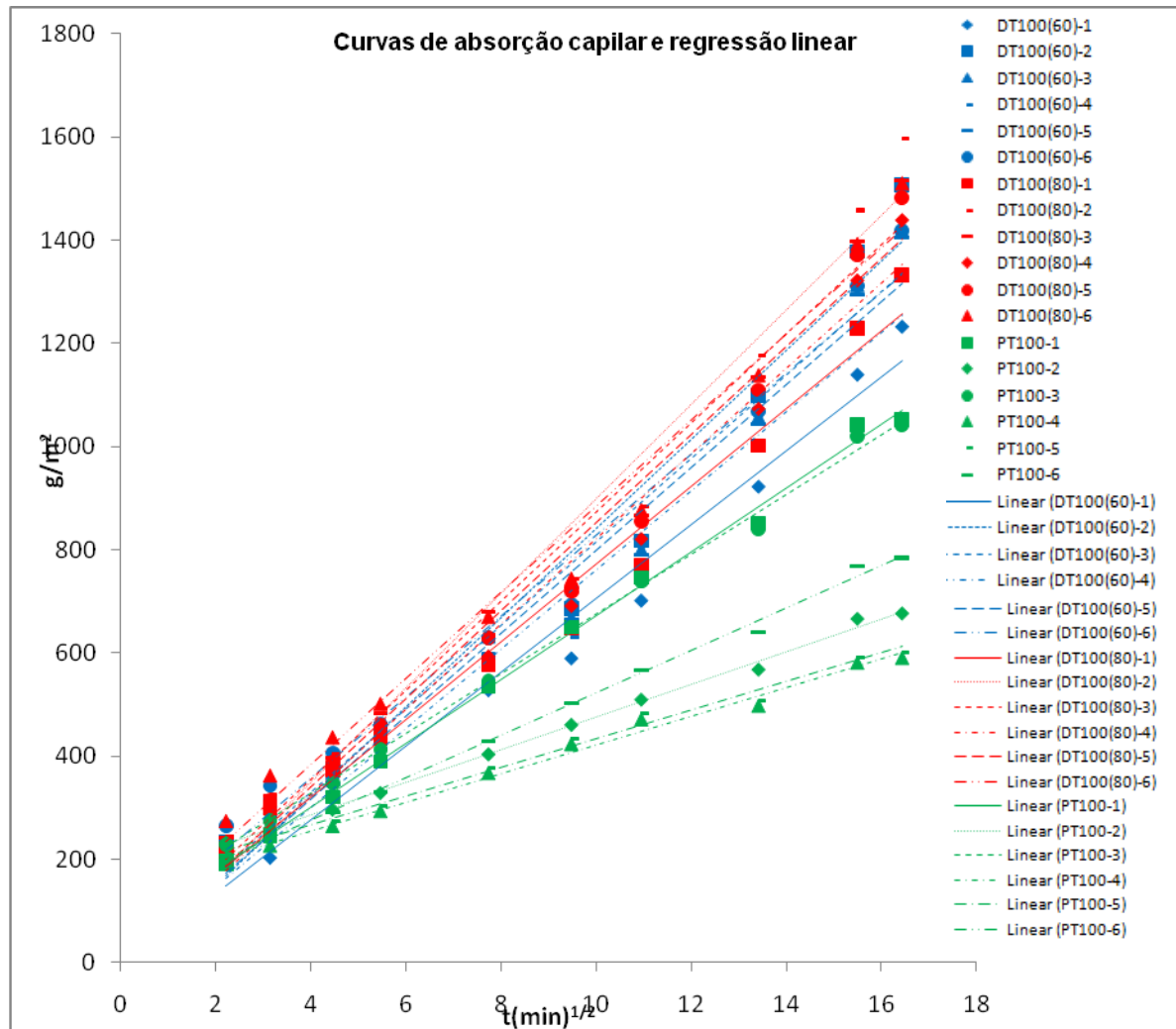


4.31 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 100x100x50, 100x100x75 e 100x100x100.



4.32 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes alturas de provetes, 150x150x50, 150x150x100 e 150x150x150.

O último aspecto em análise foi a utilização de diferentes temperaturas de secagem em estufa, sendo que foram analisados provetes com dimensões de 100x100x50 com temperatura de secagem até atingir massa constante a 40°C, 60°C e 80°C (fig.4.33).



4.33 – Gráfico de comparação de resultados da utilização diferentes temperaturas de secagem dos provetes até atingir massa constante, 40°C, 60°C e 80°C.

São apresentados nas tabelas, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 os valores obtidos para o coeficiente de absorção para cada grupo de provetes, estando as tabelas com a análise de todos os valores nos anexos A4.3, A.4.4, A.4.5, A.4.6, A.4.7 e A.4.8.

Tabela 4.4 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Protecção Total.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Protecção total	PT40-1	0,993	0,573	0,047
	PT40-2	0,991		
	PT40-3	0,990		
	PT40-4	0,998		
	PT40-5	0,997		
	PT40-6	0,995		
	PT70-1	0,997	0,181	0,016
	PT70-2	0,995		
	PT70-3	0,998		
	PT70-4	0,997		
	PT70-5	0,997		
	PT70-6	0,993		
	PT100-1	0,997	0,321	0,118
	PT100-2	0,998		
	PT100-3	0,998		
	PT100-4	0,992		
	PT100-5	0,992		
	PT100-6	0,998		
	PT150-1	0,997	0,152	0,043
	PT150-2	0,998		
	PT150-3	0,997		
	PT150-4	0,998		
	PT150-5	0,998		
	PT150-6	0,998		

Tabela 4.5 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Protecção Parcial.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Protecção Parcial	PP40-1	0,993	0,545	0,037
	PP40-2	0,994		
	PP40-3	0,997		
	PP40-4	0,998		
	PP40-5	0,993		
	PP40-6	0,995		
	PP70-1	0,996	0,822	0,226
	PP70-2	0,998		
	PP70-3	0,998		
	PP70-4	0,997		
	PP70-5	0,998		
	PP70-6	0,997		
	PP100-1	0,998	0,324	0,036
	PP100-2	0,997		
	PP100-3	0,998		
	PP100-4	0,998		
	PP100-5	0,998		
	PP100-6	0,997		

Tabela 4.6 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Ausência de Protecção.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Sem Protecção	SP40-1	0,997	0,579	0,047
	SP40-2	0,995		
	SP40-3	0,997		
	SP40-4	0,998		
	SP40-5	0,997		
	SP40-6	0,995		
	SP70-1	0,998	0,554	0,075
	SP70-2	0,998		
	SP70-3	0,992		
	SP70-4	0,998		
	SP70-5	0,997		
	SP70-6	0,998		
	SP100-1	0,997	0,429	0,073
	SP100-2	0,997		
	SP100-3	0,997		
	SP100-4	0,997		
	SP100-5	0,998		
	SP100-6	0,997		

Tabela 4.7 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Face Lateral.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Face Lateral	FL40-1	0,994	0,551	0,044
	FL40-2	0,990		
	FL40-3	0,995		
	FL40-4	0,993		
	FL40-5	0,995		
	FL40-6	0,991		
	FL70-1	0,997	0,706	0,127
	FL70-2	0,997		
	FL70-3	0,998		
	FL70-4	0,998		
	FL70-5	0,998		
	FL70-6	0,998		
	FL150-1	0,971	0,211	0,02
	FL150-2	0,974		
	FL150-3	0,976		

Tabela 4.8 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Diferentes Temperaturas.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Diferentes Temperaturas	DT100-1 (60°C)	0,981	0,614	0,038
	DT100-2 (60°C)	0,972		
	DT100-3 (60°C)	0,979		
	DT100-4 (60°C)	0,978		
	DT100-5 (60°C)	0,978		
	DT100-6 (60°C)	0,978		
	DT100-1 (80°C)	0,982	0,654	0,041
	DT100-2 (80°C)	0,976		
	DT100-3 (80°C)	0,982		
	DT100-4 (80°C)	0,982		
	DT100-5 (80°C)	0,983		
	DT100-6 (80°C)	0,980		

Tabela 4.9 – Resultados dos valores do coeficiente de absorção referentes a Diferentes Alturas.

Tipo de Provete	Referência do Provete	R ²	Coef. Absorção (mm/h ^{1/2})	Desvio Padrão
Diferentes Alturas	DA4080-1	0,994	0,546	0,050
	DA4080-2	0,997		
	DA4080-3	0,998		
	DA4080-4	0,994		
	DA4080-5	0,995		
	DA4080-6	0,997		
	DA40160-1	0,997	0,729	0,327
	DA40160-2	0,997		
	DA40160-3	0,998		
	DA40160-4	0,992		
	DA40160-5	0,998		
	DA40160-6	0,997		
	DA10075-1	0,997	0,404	0,067
	DA10075-2	0,997		
	DA10075-3	0,997		
	DA100100-1	0,997	0,454	0,083
	DA100100-2	0,998		
	DA100100-3	0,997		
	DA150100-1	0,933	0,672	0,057
	DA150100-2	0,941		
	DA150100-3	0,979		
	DA150150-1	0,943	0,794	0,103
	DA150150-2	0,970		
	DA150150-3	0,952		

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao longo deste trabalho foram realizados vários ensaios de modo a caracterizar da melhor maneira, o ensaio de absorção por capilaridade do betão auto-compactável.

Não foi possível utilizar a mesma balança em todos os provetes uma vez que a balança com a precisão adequada só suporta um máximo de 3Kg e os provetes de dimensão 150x150x100 e os de 150x150x150 possuem um peso muito superior, o que levou a que nestes provetes a precisão fosse inferior, a balança compatível possuindo uma precisão de apenas 1gr.

Outro problema a ter em conta durante a análise dos coeficientes de absorção prende-se com o facto de na amassadura A2, anexo A.4.1, de dois provetes de dimensão 100x100x50 a ensaiar com protecção total e seis provetes de 70x70x50 a ensaiar com protecção parcial, verificou-se que os resultados obtidos nos ensaios de espalhamento e do funil foram ligeiramente diferentes dos esperados, não suficientemente diferentes para que se tivesse tomado a opção de repetir a amassadura, mas provavelmente terão influenciado os resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade, justificando assim, nos provetes da amassadura A2 tornar os valores do desvio padrão do S elevados.

5.1.1. DIFERENTES TEMPERATURAS DE SECAGEM EM ESTUFA

Foram utilizados 18 provetes de 100x100x50 mm onde 6 estiveram em estufa a 40°C, 6 a 60°C e outros 6 a 80°C, todos os provetes foram completamente protegidos em termos de isolamento do provete.

Tabela 5.1 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 100x100x50 para diferentes temperaturas de secagem

Provetes 100x100x50	Coef. Absorção médio 4,5h (mm/h ^{1/2})	R ²	Desvio Padrão
40°C	0,321	0,992 – 0,998	0,118
60°C	0,614	0,972 – 0,981	0,038
80°C	0,654	0,976 – 0,982	0,041

Como era esperado os resultados do coeficiente de absorção aumenta com a temperatura, no entanto nesta análise é necessário um cuidado redobrado na conclusão tirada dos valores obtidos uma vez que os provetes que foram secos a 40°C possuem o problema relatado na introdução do presente capítulo referente à amassadura A2, justificando o elevado desvio padrão. No entanto por se ter obtido um valor muito inferior do coeficiente de absorção para os provetes a temperatura de 40°C, mesmo considerando o valor individual mais elevado (0,439), é mais cauteloso a utilização desta temperatura de secagem em estufa uma vez que a diferença de valor do coeficiente de absorção para os 60°C e os 80°C é elevada, o que poderá levar a concluir que a estas temperaturas formar-se-ão fissuras nos provetes alterando a rede porosa e permitindo a maior entrada de água durante o ensaio.

5.1.2. FACE LATERAL VS FACE INFERIOR

Para fazer a análise de resultados da comparação entre a face lateral e a face inferior de cofragem foram utilizados 12 provetes de 40x40x40, 6 a ensaiar a face lateral e os outros 6 a face inferior; 6 provetes de 70x70x50 para ensaiar a face inferior e comparar com a face lateral de 6 provetes de 70x70x70, por último 3 provetes de 150x150x50 e 3 provetes de 150X150X150.

Tabela 5.2 – Quadro de resultados da comparação entre a face lateral e a face inferior de cofragem.

Provetes	Coef. Absorção médio 4,5h (mm/h ^{1/2})	R ²	Desvio Padrão
Face Lateral 40x40x40	0,551	0,990 – 0,995	0,044
Face Inferior 40x40x40	0,573	0,990 – 0,998	0,047
Face Lateral 70x70x70	0,706	0,997 – 0,998	0,127
Face Inferior 70x70x50	0,181	0,993 – 0,998	0,016
Face Lateral 150x150x150	0,211	0,971 – 0,976	0,02
Face Inferior 150x150x50	0,152	0,997 – 0,998	0,043

Depois de analisar os resultados obtidos durante o ensaio é possível concluir que, relativamente aos provetes de dimensão 40x40x40, a dimensão muito reduzida não parece permitir distinguir a diferença da capilaridade entre a face lateral e a face inferior de cofragem.

Em relação aos restantes provetes analisados os valores obtidos para a face lateral são superiores aos obtidos para a face inferior uma vez que a face inferior, como é sabido, se encontra mais densa e assim com menos capilares à superfície para entrada de água. É de ter atenção que os valores para a face

lateral, nos provetes de 70x70 e 150x150 de base, são muito superiores aos da face inferior uma vez que se encontram sob influência de dois efeitos, o da face lateral e de serem mais altos do que os provetes da face inferior (característica descrita no ponto 5.1.3).

5.1.3. DIFERENTES ALTURAS DE PROVETES

De modo a quantificar a influência que a altura dos provetes tem no coeficiente de absorção por capilaridade comparou-se provetes com as seguintes dimensões:

- 40x40x40 - 40x40x80 – 40x40x160,
- 100x100x50 – 100x100x75 – 100x100x100,
- 150x150x50 – 150x150x100 – 150x150x150.

Tabela 5.3 – Quadro de resultados da comparação provetes de diferentes alturas.

Provetes	Coef. Absorção médio 4,5h (mm/h ^{1/2})	R ²	Desvio Padrão
40x40x40	0,573	0,990 – 0,998	0,047
40x40x80	0,546	0,994 – 0,998	0,05
40x40x160	0,729	0,992 – 0,998	0,217
100x100x50	0,321	0,992 – 0,998	0,118
100x100x75	0,404	0,997 – 0,997	0,067
100x100x100	0,454	0,997 – 0,998	0,083
150x150x50	0,152	0,997 – 0,998	0,043
150x150x100	0,672	0,933 – 0,979	0,057
150x150x150	0,794	0,943 – 0,970	0,103

É de salientar que os provetes de dimensão 150x150x100 e 150x150x150 foram pesados numa balança com uma precisão muito inferior devido ao seu elevado peso.

Depois de analisar os resultados começou-se por descartar o primeiro conjunto de base 40x40 pela razão já apontada anteriormente, pelo facto de a dimensão ser demasiado reduzida não conferir sensibilidade ao ensaio. Em relação aos restantes resultados obtidos nos ensaios foi possível concluir que quanto maior é altura do provete, maior é a quantidade de água possível de ser absorvida por estes.

5.1.4. DIFERENÇA DE DIMENSÃO E ISOLAMENTO DE PROVETES

Foram ensaiados 18 provetes de 40x40x40 entre os quais 6 com protecção total, 6 com protecção parcial e 6 com ausência de protecção (tabela 5.4); 18 provetes de 70x70x50 onde foram ensaiados 6 provetes com protecção total, 6 com protecção parcial e 6 com ausência de protecção (tabela 5.5); por último foram ensaiados 18 provetes de 100x100x50 dos quais 6 com protecção total, 6 com protecção parcial e 6 sem qualquer protecção (tabela 5.6).

De modo a comparar a influência da dimensão dos provetes para o mesmo isolamento dos provetes foram comparados os resultados obtidos para protecção total dos provetes de dimensão 40x40x40,

70x70x50, 100x100x50 e 150x150x50, para protecção parcial os provetes de 40x40x40, 70x70x50 e 100x100x50 e para ausência de protecção os provetes de 40x40x40, 70x70x50 e 100x100x50 (tabela 5.7).

Tabela 5.4 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 40x40x40 para diferentes tipos de isolamento.

Provetes 40x40x40	Coef. Absorção médio 4,5h	R ²	Desvio Padrão
Protecção Total (PT)	0,573	0,990 – 0,998	0,047
Protecção Parcial (PP)	0,545	0,993 – 0,998	0,037
Sem Protecção (SP)	0,579	0,995 – 0,998	0,047

Tabela 5.5 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 70x70x50 para diferentes quantidades de isolamento.

Provetes 70x70x50	Coef. Absorção médio 4,5h	R ²	Desvio Padrão
Protecção Total (PT)	0,181	0,993 – 0,998	0,016
Protecção Parcial (PP)	0,822	0,996 – 0,998	0,226
Sem Protecção (SP)	0,554	0,992 – 0,998	0,075

Tabela 5.6 – Quadro de comparação de resultados dos provetes de 100x100x50 para diferentes quantidades de isolamento.

Provetes 100x100x50	Coef. Absorção médio 4,5h	R ²	Desvio Padrão
Protecção Total (PT)	0,321	0,992 – 0,998	0,118
Protecção Parcial (PP)	0,324	0,997 – 0,998	0,036
Sem Protecção (SP)	0,429	0,997 – 0,998	0,073

Tabela 5.7 – Quadro de resultados da comparação das dimensões dos provetes.

Provetes	Coef. Absorção médio 4,5h (mm/h ^{1/2})	R ²	Desvio Padrão
Protecção Total 40x40x40	0,573	0,990 – 0,998	0,047
Protecção Total 70x70x50	0,181	0,993 – 0,998	0,016
Protecção Total 100x100x50	0,321	0,992 – 0,998	0,118
Protecção Total 150x150x50	0,152	0,997 – 0,998	0,043
Protecção Parcial 40x40x40	0,545	0,993 – 0,998	0,037
Protecção Parcial 70x70x50	0,822	0,996 – 0,998	0,226
Protecção Parcial 100x100x50	0,324	0,997 – 0,998	0,036
Sem Protecção 40x40x40	0,579	0,995 – 0,998	0,047
Sem Protecção 70x70x50	0,554	0,992 – 0,998	0,075
Sem Protecção 100x100x50	0,429	0,997 – 0,998	0,073

Através da análise das tabelas 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 é possível concluir que na realização do ensaio de absorção por capilaridade é preferível a utilização de provetes sempre da mesma dimensão e que o seu isolamento seja feito com protecção total.

É de salientar, mais uma vez, que durante a amassadura de dois dos provetes de 100x100x50, protecção total, e 6 provetes de 70x70x50, protecção parcial, ocorreram algumas diferenças nos ensaios de espalhamento e do funil e que é essa uma possível justificação para os valores de desvio padrão dos resultados correspondentes ser tão elevado.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Sendo esta uma primeira experiência no âmbito dos ensaios de absorção por capilaridade para argamassas auto-compactáveis, e com base nos resultados obtidos neste trabalho, é de salientar a importância de se prosseguir com a investigação no que concerne aos vários aspectos analisados referentes a ensaios em argamassa passando depois para uma análise em betões com o fim ultimo de tornar os resultados do ensaio de absorção por capilaridade numa verdadeira ferramenta de análise da qualidade da rede porosa e, portanto, da durabilidade.

5.3. BIBLIOGRAFIA

Coutinho, J. Sousa (1998). *Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento de Cofragem*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.

ANEXOS

A.4.1 – Características das amassaduras.

Amassadura	V (L)	CEM I 42,4 R	Filer calcário (gr)	Areia normalizada (gr)	Água (gr)	Superplastificante (V3005) (gr)	Temperatura	Humidade	Espalhamento D1/D2	TFunil	Betonagem
A1	3,24	1790	1022	4048	735,46	26,010	22,8°C	52,52	271/271	8,18	12-4x4x4 6 -70x70x50
A2							22,2	51,90	280/280	7,48	6 – 70x70x50 2 – 100x100x50
A3							22,1	50,60	274/274	8,65	4 – 100x100x50
A4							21,9	48,60	273/271	8,7	2 – 150x150x50 1 – 100x100x50
A5							20,8	49,8	275/275	8,76	2 – 150x150x50 1 – 100x100x50
A6							21,4	49,30	27/274	8,9	2 – 150x150x50 1 – 100x100x50
A7							20,6	50,80	273/274	8,85	3 – 100x100x50
A8							21,4	49,60	273/272	8,56	1 – 150x150x100
A9							21,4	49,50	274/275	8,43	1 – 150X150x100
A10							21,1	48,90	271/271	8,46	1 – 150x150x100
A11	3,73	2060	1177	4660	846,68	29,940	21,1	48,30	276/276	8,16	1 – 150x150x150
A12							20,5	52,20	275/275	8,17	1 – 150x150x150
A13							20,5	50,50	273/273	8,24	1 – 150x150x150

Durabilidade e Absorção por Capilaridade em Betão

Amassadura	V (L)	CEM I 42,4 R	Filer calcário (gr)	Areia normalizada (gr)	Água (gr)	Superplastificante (V3005) (gr)	Temperatura	Humidade	Espalhamento D1/D2	TFunil	Betonagem
A14	3,24	1790	1022	4048	735,46	26,010	21,5	50,80	270/271	8,76	12 – 40x40x40 6 – 70x70x50
A15							21,7	51,70	272/272	8,96	6 – 70x70x50 2 – 100x100x50
A16							21,5	52,4	276/277	8,69	4 – 100x100x50
A17	3,30	1823	1041	4123	749,08	26,49	22,2	61,7	275/275	8,23	6 – 100x100x50
A18							22,5	64,2	276/277	8,15	6 – 100x100x50
A19	3,73	2060	1177	4660	846,68	29,94	22,4	62,3	278/278	7,89	1 – 150x150x150
A20							22,5	62,40	278/279	7,79	1 – 150x150x150
A21							22,5	62,2	279/279	7,97	1 – 150x150x150
A22	3,24	1790	1022	4048	735,46	26,010	21,6	61,40	273/273	8,5	6 – 40x40x80 6 – 40x40x160
A23							22,0	78,60	274/273	8,27	3 – 100x100x75
A24							21,4	68,9	274/275	8,05	3 – 100x100x75
A25	3,30	1823	1041	4123	749,08	26,49	21,7	65,00	276/277	8,3	3 – 100x100x100
A26							21,8	63,2	277/277	8,08	3 – 100x100x100

A.4.2 – Tabelas de resultados para os diferentes métodos de isolamento de provetes

		Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)												
Metodo isolamento	Referência provetes	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
		0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	420	1440
Tinta Epoxidica	TE1	1176,25	1177,42	1177,85	1178,7	1179,38	1181,08	1182,63	1183,4	1186,1	1187,84	1188,66	1192,73	1200,44
	TE2	1152,04	1153,25	1153,75	1154,66	1155,39	1157,19	1158,84	1160,16	1162,36	1164,5	1165,43	1170,44	1181,52
	TE3	1163,6	1164,33	1164,99	1166,06	1167,02	1169,33	1171,27	1172,91	1175,73	1178,12	1179,23	1184,98	1198,54
Parafina	PRF1	1188,8	1190,44	1190,98	1192,16	1193,02	1195,35	1197,35	1198,99	1201,75	1203,93	1204,95	1209,98	1221,11
	PRF2	1200,74	1202,4	1202,96	1204,13	1205	1207,23	1209,18	1210,74	1213,45	1215,56	1216,59	1222,28	1236,16
	PRF3	1160,96	1161,81	1162,59	1163,79	1164,86	1167,46	1169,49	1171,26	1174,14	1176,65	1177,79	1183,61	1195,98
		0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	420	1440
Fita de aluminio	FA1	1331,12	1332,2	1332,71	1333,45	1334,01	1335,49	1336,72	1337,68	1339,21	1340,35	1340,87	1343,58	1349,46
	FA2	1263,56	1264,6	1265,01	1265,6	1266,07	1267,34	1268,4	1269,24	1270,68	1271,77	1272,28	1275,01	1281,36
	FA3	1177,08	1177,51	1177,88	1178,48	1179,03	1180,37	1181,47	1182,34	1183,76	1184,9	1185,41	1187,99	1193,85
Fita isolante de água	FIA1	1119,27	1119,94	1120,45	1121,19	1121,75	1123,1	1124,33	1125,29	1126,82	1127,96	1128,48	1131,19	1137,07
	FIA2	1153,51	1154,29	1154,7	1155,29	1155,76	1156,91	1157,97	1158,81	1160,25	1161,34	1161,85	1164,58	1170,93
	FIA3	1047,89	1048,32	1048,69	1049,29	1049,84	1051,09	1052,19	1053,06	1054,48	1055,62	1056,13	1058,71	1064,57

		Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m²)											
Metodo isolamento	Referência provetes	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
		2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	20,4939	37,9473
Tinta Epoxidica	TE1	117,00	160,00	245,00	313,00	483,00	638,00	715,00	985,00	1159,00	1241,00	1648,00	2419,00
	TE2	121,00	171,00	262,00	335,00	515,00	680,00	812,00	1032,00	1246,00	1339,00	1840,00	2948,00
	TE3	73,00	139,00	246,00	342,00	573,00	767,00	931,00	1213,00	1452,00	1563,00	2138,00	3494,00
Parafina	PRF1	164,00	218,00	336,00	422,00	655,00	855,00	1019,00	1295,00	1513,00	1615,00	2118,00	3231,00
	PRF2	166,00	222,00	339,00	426,00	649,00	844,00	1000,00	1271,00	1482,00	1585,00	2154,00	3542,00
	PRF3	85,00	163,00	283,00	390,00	650,00	853,00	1030,00	1318,00	1569,00	1683,00	2265,00	3502,00
		2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	20,4939	37,9473
Fita de aluminio	FA1	108,00	159,00	233,00	289,00	437,00	560,00	656,00	809,00	923,00	975,00	1246,00	1834,00
	FA2	104,00	145,00	204,00	251,00	378,00	484,00	568,00	712,00	821,00	872,00	1145,00	1780,00
	FA3	43,00	80,00	140,00	195,00	329,00	439,00	526,00	668,00	782,00	833,00	1091,00	1677,00
Fita isolante de água	FIA1	67,00	118,00	192,00	248,00	383,00	506,00	602,00	755,00	869,00	921,00	1192,00	1780,00
	FIA2	78,00	119,00	178,00	225,00	340,00	446,00	530,00	674,00	783,00	834,00	1107,00	1742,00
	FIA3	43,00	80,00	140,00	195,00	320,00	430,00	517,00	659,00	773,00	824,00	1082,00	1668,00

		Resultados do ensaio completo						
Metodo isolamento	Referência provetes	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
		a	S0	R^2	mm/h^0,5	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
Tinta Epoxidica	TE1	68,80	-1,01	0,974	0,533	0,650	0,121	18,61%
	TE2	82,81	-74,87	0,990	0,641			
	TE3	99,95	-149,48	0,991	0,774			
Parafina	PRF1	90,64	7,33	0,982	0,702	0,747	0,040	5,32%
	PRF2	98,08	-64,03	0,994	0,760			
	PRF3	100,48	-84,31	0,983	0,778			
		a	S0	R^2	mm/h^0,5	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
Fita de aluminio	FA1	50,66	63,83	0,973	0,392	0,381	0,010	2,66%
	FA2	48,96	21,00	0,987	0,379			
	FA3	48,09	-23,39	0,980	0,372			
Fita isolante de água	FIA1	50,25	11,50	0,975	0,389	0,379	0,010	2,56%
	FIA2	48,58	11,58	0,988	0,376			
	FIA3	47,80	12,00	0,981	0,370			

		Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
Metodo isolamento	Referência provetes	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
		a	S0	R^2	mm/h^0,5	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
Tinta Epoxidica	TE1	80,57	-110,44	0,994	0,624	0,708	0,105	14,89%
	TE2	86,85	-120,54	0,996	0,673			
	TE3	106,63	-217,76	0,997	0,826			
Parafina	PRF1	104,84	-122,57	0,998	0,812	0,829	0,049	5,92%
	PRF2	102,11	-109,11	0,998	0,791			
	PRF3	114,19	-212,45	0,999	0,884			
		a	S0	R^2	mm/h^0,5	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
Fita de aluminio	FA1	62,37	-39,43	0,999	0,483	0,451	0,029	6,38%
	FA2	55,20	-36,71	0,999	0,428			
	FA3	57,08	-103,84	0,999	0,442			
Fita isolante de água	FIA1	61,25	68,34	0,999	0,474	0,443	0,028	6,35%
	FIA2	54,17	62,28	0,999	0,420			
	FIA3	56,31	63,80	0,999	0,436			

A.4.3 – Tabelas de resultados para as diferentes temperaturas de secagem em estufa.

			Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)										
Referência amassadura	Referência provetes	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
		0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
DT (60°C)	DT100-1	1103,45	1105,47	1105,47	1106,88	1107,40	1108,72	1109,34	1110,46	1112,67	1114,84	1115,77	1121,02
	DT100-2	1132,76	1135,10	1135,81	1136,51	1137,29	1138,65	1139,62	1140,94	1143,75	1146,54	1147,83	1153,65
	DT100-3	1115,43	1117,74	1118,46	1119,13	1119,91	1121,76	1122,13	1123,45	1126,02	1128,56	1129,62	1134,56
	DT100-4	1121,23	1123,33	1124,07	1124,68	1125,36	1126,66	1127,54	1128,74	1131,16	1133,55	1134,61	1142,56
	DT100-5	1107,32	1109,57	1110,32	1110,97	1111,57	1113,16	1113,96	1115,22	1117,75	1120,25	1121,37	1129,23
	DT100-6	1107,15	1109,80	1110,58	1111,22	1111,77	1113,44	1114,08	1115,31	1117,82	1120,27	1121,34	1129,16
DT(80°C)	DT100-1	1102,42	1104,54	1105,42	1106,15	1106,77	1108,19	1108,91	1110,13	1112,44	1114,71	1115,74	1124,34
	DT100-2	1112,39	1114,83	1115,64	1116,44	1117,32	1118,75	1119,82	1121,24	1124,15	1126,97	1128,36	1137,34
	DT100-3	1117,46	1119,87	1120,69	1121,44	1122,30	1124,25	1124,72	1126,13	1128,80	1131,44	1132,60	1142,58
	DT100-4	1126,59	1128,79	1129,63	1130,34	1131,12	1132,52	1133,50	1134,80	1137,32	1139,81	1140,97	1148,26
	DT100-5	1114,78	1117,08	1117,93	1118,68	1119,38	1121,07	1121,97	1123,33	1125,88	1128,48	1129,61	1136,48
	DT100-6	1120,34	1123,09	1123,97	1124,71	1125,36	1127,04	1127,78	1129,11	1131,72	1134,27	1135,44	1143,89
		Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m^2)											
Referência amassadura	Referência provetes	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	
		2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473	
DT (60°C)	DT100-1	202,00	202,00	343,00	395,00	527,00	589,00	701,00	922,00	1139,20	1232,40	1757,00	
	DT100-2	234,00	305,00	375,00	453,00	589,00	685,70	817,70	1098,70	1377,70	1506,70	2089,00	
	DT100-3	231,00	303,00	370,00	448,00	633,00	669,50	801,50	1058,50	1312,90	1419,30	1913,00	
	DT100-4	210,00	284,00	345,00	413,00	543,00	630,80	750,80	992,80	1231,60	1338,40	2133,00	
	DT100-5	225,00	300,00	365,00	425,00	584,00	664,10	790,10	1043,10	1293,30	1404,50	2191,00	
	DT100-6	265,00	343,00	407,00	462,00	629,00	693,30	816,30	1067,30	1311,50	1418,70	2201,00	
DT(80°C)	DT100-1	212,00	300,00	373,00	435,00	577,00	649,00	771,00	1002,00	1229,20	1332,40	2192,00	
	DT100-2	244,00	325,00	405,00	493,00	636,00	742,70	884,70	1175,70	1457,70	1596,70	2495,00	
	DT100-3	241,00	323,00	398,00	484,00	679,00	725,50	866,50	1133,50	1397,90	1514,30	2512,00	
	DT100-4	220,00	304,00	375,00	453,00	593,00	690,80	820,80	1072,80	1321,60	1438,40	2167,00	
	DT100-5	230,00	315,00	390,00	460,00	629,00	719,10	855,10	1110,10	1370,30	1482,50	2170,00	
	DT100-6	275,00	363,00	437,00	502,00	670,00	744,30	877,30	1138,30	1392,50	1509,70	2355,00	

		Resultados do ensaio completo						
Referência amassadura	Referência provetes	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
		a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
DT (60°C)	DT100-1	46,60	190,85	0,910	0,361	0,418	0,035	8,33%
	DT100-2	55,74	223,91	0,900	0,432			
	DT100-3	50,33	252,48	0,887	0,390			
	DT100-4	56,47	155,54	0,952	0,437			
	DT100-5	57,93	176,23	0,946	0,449			
	DT100-6	56,89	218,16	0,948	0,441			
DT(80°C)	DT100-1	57,34	163,66	0,963	0,444	0,471	0,034	7,13%
	DT100-2	66,29	186,25	0,947	0,513			
	DT100-3	66,05	172,57	0,964	0,512			
	DT100-4	57,30	199,08	0,935	0,444			
	DT100-5	57,31	223,92	0,923	0,444			
	DT100-6	60,84	231,71	0,950	0,471			

Referência amassadura	Referência provetes	Resultados do ensaio às 4,5h						
		Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
		a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
DT (60°C)	DT100-1	71,60	-11,11	0,981	0,555	0,614	0,039	6,29%
	DT100-2	86,62	-25,61	0,972	0,671			
	DT100-3	81,13	3,65	0,979	0,628			
	DT100-4	76,91	-9,58	0,978	0,596			
	DT100-5	80,60	-6,91	0,978	0,624			
	DT100-6	78,61	42,62	0,978	0,609			
DT(80°C)	DT100-1	75,59	16,22	0,982	0,586	0,654	0,041	6,33%
	DT100-2	91,83	-20,12	0,976	0,711			
	DT100-3	86,68	5,90	0,982	0,671			
	DT100-4	82,80	-6,93	0,982	0,641			
	DT100-5	85,56	-4,34	0,983	0,663			
	DT100-6	83,73	46,75	0,980	0,649			

A.4.4 – Tabelas de resultados para as diferentes alturas do provete.

Referência provetes	Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)											
	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
DA4080-1	289,02	289,80	289,91	290,02	290,14	290,34	290,45	290,74	290,92	291,14	291,30	298,96
DA4080-2	289,03	289,81	289,90	290,02	290,14	290,36	290,54	290,73	290,92	291,24	291,24	295,64
DA4080-3	284,14	284,91	285,00	285,14	285,25	285,51	285,72	285,88	286,09	286,44	286,49	296,24
DA4080-4	284,97	285,48	285,59	285,70	285,81	286,07	286,24	286,53	286,75	287,00	287,00	294,85
DA4080-5	286,04	286,97	287,05	287,17	287,27	287,52	287,71	287,89	288,13	288,49	288,57	297,63
DA4080-6	288,47	289,56	289,65	289,82	289,95	290,24	290,47	290,67	290,93	291,34	291,40	299,18
DA40160-1	589,51	591,32	591,88	592,63	593,32	594,77	595,92	596,88	597,94	599,84	599,94	604,51
DA40160-2	593,19	594,43	594,82	595,44	595,98	597,13	598,02	598,74	599,59	601,09	601,19	610,68
DA40160-3	593,97	596,16	596,62	597,35	598,00	599,33	600,37	601,26	602,27	604,07	604,29	615,43
DA40160-4	594,01	594,46	594,72	595,10	595,39	596,13	596,69	597,17	597,43	598,27	598,36	607,87
DA40160-5	583,16	583,26	583,54	583,90	584,22	584,97	585,54	586,03	586,61	587,60	587,70	599,08
DA40160-6	586,12	587,26	587,97	588,46	588,89	589,93	590,79	591,57	592,46	593,96	594,24	605,63
DA10075-1	1715,39	1719,23	1719,79	1720,54	1721,23	1722,68	1723,83	1724,79	1725,85	1727,75	1727,85	1738,36
DA10075-2	1708,91	1713,28	1713,59	1714,11	1714,59	1715,58	1716,39	1717,14	1718,03	1719,44	1719,63	1733,47
DA10075-3	1714,32	1717,83	1718,22	1718,84	1719,38	1720,53	1721,42	1722,14	1722,99	1724,49	1724,59	1744,71
DA100100-1	2290,42	2295,75	2296,31	2297,14	2297,86	2299,51	2300,79	2301,88	2303,08	2305,23	2305,42	2325,6
DA100100-2	2287,14	2293,45	2293,91	2294,64	2295,29	2296,62	2297,66	2298,55	2299,56	2301,36	2301,58	2321,64
DA100100-3	2295,09	2303,17	2303,88	2304,37	2304,80	2305,84	2306,70	2307,48	2308,37	2309,87	2310,15	2330,56
DA150100-1	5178	5182	5183	5185	5186	5188	5190	5193	5200	5208	5211	5218
DA150100-2	5203	5205	5207	5208	5210	5212	5215	5217	5225	5234	5236	5245
DA150100-3	5185	5187	5190	5192	5194	5195	5199	5201	5206	5212	5214	5220
DA150150-1	7783	7790	7791	7792	7794	7797	7800	7802	7810	7819	7822	7829
DA150150-2	7812	7817	7819	7820	7822	7824	7828	7831	7838	7844	7847	7855
DA150150-3	7809	7815	7816	7817	7820	7822	7827	7831	7840	7848	7853	7862

Referência provetes	Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m ²)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
DA4080-1	487,50	556,25	625,00	700,00	825,00	893,75	1075,00	1187,50	1325,00	1425,00	6212,50
DA4080-2	487,50	543,75	618,75	693,75	831,25	943,75	1062,50	1181,25	1381,25	1381,25	4131,25
DA4080-3	481,25	537,50	625,00	693,75	856,25	987,50	1087,50	1221,25	1438,75	1468,75	7562,50
DA4080-4	318,75	387,50	456,25	525,00	687,50	793,75	975,00	1112,50	1268,75	1268,75	6175,00
DA4080-5	581,25	631,25	706,25	768,75	925,00	1043,75	1156,25	1307,50	1528,75	1581,25	7243,75
DA4080-6	681,25	737,50	843,75	925,00	1106,25	1250,00	1375,00	1540,00	1795,00	1831,25	6693,75
DA40160-1	369,39	483,67	636,73	777,55	1073,47	1308,16	1504,08	1719,59	2107,76	2128,57	3061,22
DA40160-2	253,06	332,65	459,18	569,39	804,08	985,71	1132,65	1306,53	1611,43	1632,65	3569,39
DA40160-3	446,94	540,82	689,80	822,45	1093,88	1306,12	1487,76	1694,29	2060,41	2106,12	4379,59
DA40160-4	91,84	144,90	222,45	281,63	432,65	546,94	644,90	698,37	868,57	887,76	2828,57
DA40160-5	20,41	77,55	151,02	216,33	369,39	485,71	585,71	704,49	905,31	926,53	3248,98
DA40160-6	232,65	377,55	477,55	565,31	777,55	953,06	1112,24	1293,88	1600,00	1657,14	3981,63
Referência provetes	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
DA10075-1	384,00	440,00	515,00	584,00	729,00	844,00	940,00	1045,60	1235,80	1246,00	2297,00
DA10075-2	437,00	468,00	520,00	568,00	667,00	748,00	823,00	911,80	1053,40	1072,00	2456,00
DA10075-3	351,00	390,00	452,00	506,00	621,00	710,00	782,00	867,20	1016,60	1027,00	3039,00
DA100100-1	533,00	589,00	672,00	744,00	909,00	1037,00	1146,00	1266,40	1481,20	1500,00	3518,00
DA100100-2	631,00	677,00	750,00	815,00	948,00	1052,00	1141,00	1242,20	1421,60	1444,00	3450,00
DA100100-3	808,00	879,00	928,00	971,00	1075,00	1161,00	1239,00	1328,00	1478,00	1506,00	3547,00
DA150100-1	177,78	222,22	311,11	355,56	444,44	533,33	666,67	977,78	1333,33	1468,13	1777,78
DA150100-2	88,89	177,78	222,22	311,11	400,00	533,33	622,22	977,78	1377,78	1466,67	1866,67
DA150100-3	88,89	222,22	311,11	400,00	444,44	622,22	711,11	933,33	1200,00	1288,89	1555,56
DA150150-1	311,11	360,49	405,42	488,89	622,22	755,56	844,44	1200,00	1600,00	1734,80	2044,44
DA150150-2	222,22	311,11	360,80	448,09	536,98	714,76	857,69	1155,82	1422,49	1571,56	1911,11
DA150150-3	266,67	332,53	358,40	491,73	580,62	802,84	975,47	1397,33	1752,89	1963,82	2355,56

Referência provetes	Resultados do ensaio completo						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
DA4080-1	154,77	-392,29	0,905	1,199	1,225	0,245	20,01%
DA4080-2	100,00	52,16	0,963	0,775			
DA4080-3	190,99	-660,19	0,891	1,479			
DA4080-4	158,65	-559,18	0,913	1,229			
DA4080-5	180,52	-492,70	0,899	1,398			
DA4080-6	163,79	-181,18	0,929	1,269			
DA40160-1	78,41	475,15	0,895	0,607	0,711	0,109	15,27%
DA40160-2	93,36	74,25	0,998	0,723			
DA40160-3	110,89	233,19	0,998	0,859			
DA40160-4	75,16	-171,21	0,981	0,582			
DA40160-5	89,10	-328,03	0,978	0,690			
DA40160-6	104,16	-16,45	0,998	0,807			
Referência provetes	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
DA10075-1	54,07	309,41	0,993	0,419	0,475	0,084	17,58%
DA10075-2	56,27	235,32	0,989	0,436			
DA10075-3	73,75	37,16	0,965	0,571			
DA100100-1	82,97	261,15	0,992	0,643	0,608	0,032	5,26%
DA100100-2	77,83	336,43	0,980	0,603			
DA100100-3	74,80	493,98	0,963	0,579			
DA150100-1	50,14	4,55	0,822	0,388	0,383	0,046	11,99%
DA150100-2	54,93	7,02	0,835	0,425			
DA150100-3	43,14	1,61	0,813	0,334			
DA150150-1	54,85	2,13	0,811	0,425	0,446	0,058	12,96%
DA150150-2	51,95	2,20	0,828	0,402			
DA150150-3	66,09	5,46	0,818	0,512			

Referência provetes	Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
DA4080-1	64,31	338,43	0,994	0,498	0,546	0,050	9,15%
DA4080-2	64,87	335,99	0,997	0,502			
DA4080-3	70,48	313,34	0,998	0,546			
DA4080-4	70,40	153,72	0,994	0,545			
DA4080-5	70,97	392,26	0,995	0,550			
DA4080-6	82,25	477,48	0,997	0,637			
DA40160-1	126,51	86,56	0,997	0,980	0,729	0,217	29,79%
DA40160-2	99,24	26,73	0,997	0,769			
DA40160-3	118,49	171,78	0,998	0,918			
DA40160-4	56,91	-23,77	0,992	0,441			
DA40160-5	64,88	-132,39	0,998	0,503			
DA40160-6	98,53	29,04	0,997	0,763			
DA10075-1	61,99	245,41	0,997	0,480	0,404	0,067	16,67%
DA10075-2	45,69	320,75	0,997	0,354			
DA10075-3	48,63	240,10	0,997	0,377			
DA100100-1	69,60	369,17	0,997	0,539	0,454	0,083	18,20%
DA100100-2	58,06	496,17	0,998	0,450			
DA100100-3	48,28	708,23	0,997	0,374			
DA150100-1	87,02	104,68	0,933	0,674	0,672	0,057	8,54%
DA150100-2	93,95	113,14	0,941	0,728			
DA150100-3	79,15	88,41	0,979	0,613			
DA150150-1	97,76	115,90	0,943	0,757	0,794	0,103	12,93%
DA150150-2	92,26	107,95	0,970	0,715			
DA150150-3	117,46	139,59	0,952	0,910			

A.4.5 – Tabelas de resultados do uso da face lateral de cofragem.

Referência provetes	Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)											
	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
FL40-1	146,12	146,74	146,85	146,96	147,08	147,28	147,39	147,68	147,86	148,08	148,24	150,36
FL40-2	146,08	146,62	146,71	146,82	146,89	147,14	147,25	147,40	147,74	148,04	148,10	151,01
FL40-3	149,67	150,06	150,14	150,26	150,36	150,61	150,80	150,98	151,22	151,58	151,66	153,62
FL40-4	146,72	147,48	147,59	147,70	147,81	148,07	148,24	148,53	148,75	149,00	149,25	151,74
FL40-5	146,51	147,28	147,36	147,48	147,58	147,83	148,02	148,20	148,44	148,80	148,88	157,05
FL40-6	143,65	144,32	144,41	144,52	144,63	144,85	145,07	145,28	145,66	145,98	146,09	153,2
FL70-1	806,34	809,28	809,59	810,11	810,59	811,58	812,39	813,14	814,03	815,44	815,63	821,11
FL70-2	813,64	815,19	815,58	816,20	816,74	817,89	818,78	819,50	820,35	821,85	821,95	829,84
FL70-3	809,69	811,81	812,27	813,00	813,65	814,98	816,02	816,91	817,92	819,72	819,94	828,75
FL70-4	810,34	812,78	813,13	813,62	814,00	814,98	815,73	816,37	817,11	818,38	818,54	824,78
FL70-5	804,89	807,51	807,83	808,32	808,66	809,60	810,29	810,87	811,57	812,77	812,92	818,92
FL70-6	804,21	806,80	807,11	807,57	807,92	808,74	809,40	809,93	810,59	811,70	811,84	816,85
FL150-1	7693	7701	7702	7702	7704	7705	7706	7707	7709	7709	7709	7750
FL150-2	7818	7823	7824	7825	7826	7827	7829	7830	7832	7832	7832	7859
FL150-3	7814	7821	7822	7822	7824	7825	7826	7827	7828	7829	7829	7856

Referência provetes	Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m ²)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
FL40-1	387,50	456,25	525,00	600,00	725,00	793,75	975,00	1087,50	1225,00	1325,00	2650,00
FL40-2	337,50	393,75	462,50	506,25	662,50	731,25	822,50	1040,00	1225,00	1262,50	3081,25
FL40-3	243,75	293,75	368,75	431,25	587,50	706,25	818,75	970,00	1191,25	1243,75	2468,75
FL40-4	475,00	543,75	612,50	681,25	843,75	950,00	1131,25	1268,75	1425,00	1581,25	3137,50
FL40-5	481,25	531,25	606,25	668,75	825,00	943,75	1056,25	1207,50	1428,75	1481,25	6587,50
FL40-6	418,75	475,00	543,75	612,50	750,00	887,50	1018,75	1256,25	1456,25	1525,00	5968,75
FL70-1	600,00	663,27	769,39	867,35	1069,39	1234,69	1387,76	1568,98	1857,96	1895,92	3014,29
FL70-2	316,33	395,92	522,45	632,65	867,35	1048,98	1195,92	1369,80	1674,69	1695,92	3306,12
FL70-3	432,65	526,53	675,51	808,16	1079,59	1291,84	1473,47	1680,00	2046,12	2091,84	3889,80
FL70-4	497,96	569,39	669,39	746,94	946,94	1100,00	1230,61	1380,82	1640,41	1673,47	2946,94
FL70-5	534,69	600,00	700,00	769,39	961,22	1102,04	1220,41	1363,67	1607,35	1638,78	2863,27
FL70-6	528,57	591,84	685,71	757,14	924,49	1059,18	1167,35	1302,04	1528,57	1557,14	2579,59
FL150-1	355,56	388,89	419,56	484,00	535,11	577,78	624,71	709,24	713,78	713,78	2533,33
FL150-2	222,22	259,11	291,11	364,44	421,33	469,78	523,29	618,76	627,11	627,11	1822,22
FL150-3	311,11	343,56	372,44	431,56	477,78	517,33	562,31	642,04	652,00	652,00	1866,67

Referência provetes	Resultados do ensaio completo						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
FL40-1	63,55	244,58	0,999	0,492	0,771	0,361	46,80%
FL40-2	76,96	69,55	0,992	0,596			
FL40-3	63,62	114,16	0,995	0,493			
FL40-4	75,27	282,14	0,998	0,583			
FL40-5	165,86	-474,33	0,909	1,285			
FL40-6	152,22	-399,35	0,933	1,179			
FL70-1	69,88	551,49	0,966	0,541	0,578	0,112	19,35%
FL70-2	84,76	207,00	0,990	0,657			
FL70-3	98,36	320,10	0,987	0,762			
FL70-4	69,79	413,79	0,987	0,541			
FL70-5	66,26	450,73	0,988	0,513			
FL70-6	58,51	478,27	0,980	0,453			
Referência provetes	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
FL150-1	58,41	58,86	0,915	0,452	0,371	0,071	18,99%
FL150-2	43,40	67,53	0,969	0,336			
FL150-3	41,99	136,65	0,951	0,325			

Referência provetes	Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
FL40-1	64,31	238,43	0,994	0,498	0,551	0,044	7,92%
FL40-2	65,66	160,78	0,990	0,509			
FL40-3	70,97	54,76	0,995	0,550			
FL40-4	75,41	281,04	0,993	0,584			
FL40-5	70,97	292,26	0,995	0,550			
FL40-6	79,10	191,34	0,991	0,613			
FL70-1	93,25	362,75	0,997	0,722	0,706	0,127	17,96%
FL70-2	99,24	90,00	0,997	0,769			
FL70-3	118,49	157,49	0,998	0,918			
FL70-4	84,04	298,70	0,998	0,651			
FL70-5	78,83	349,17	0,998	0,611			
FL70-6	73,23	359,38	0,998	0,567			
Referência provetes	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
FL150-1	26,55	316,25	0,971	0,206	0,211	0,020	9,32%
FL150-2	30,06	175,28	0,974	0,233			
FL150-3	25,12	272,93	0,976	0,195			

A.4.6 – Tabelas de resultados do uso de protecção total

Referência provetes	Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)											
	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
PT1-40	144,91	145,27	145,38	145,49	145,6	145,86	146,03	146,32	146,54	146,79	147,04	149,92
PT2-40	145,95	146,18	146,27	146,38	146,49	146,71	146,93	147,14	147,52	147,84	147,95	150,27
PT3-40	147,72	148,05	148,14	148,25	148,32	148,57	148,68	148,83	149,17	149,47	149,53	151,48
PT4-40	148,14	148,51	148,6	148,74	148,85	149,11	149,32	149,48	149,694	150,042	150,09	153,02
PT5-40	144,31	144,67	144,76	144,93	145,06	145,35	145,58	145,78	146,044	146,452	146,51	148,85
PT6-40	149,46	149,85	149,93	150,05	150,15	150,4	150,59	150,77	151,012	151,366	151,45	154,38
PT1-70	555,64	556,69	556,78	556,9	557,02	557,24	557,42	557,61	557,80	558,12	558,15	560,2
PT2-70	557,66	558,45	558,53	558,65	558,75	559	559,19	559,37	559,612	559,966	560,05	562,34
PT3-70	571,41	572,45	572,54	572,68	572,79	573,05	573,26	573,42	573,634	573,982	574,03	576,08
PT4-70	544,2	545,23	545,32	545,44	545,56	545,78	545,96	546,15	546,34	546,66	546,69	549,12
PT5-70	547,77	548,77	548,86	549,03	549,16	549,45	549,68	549,88	550,144	550,552	550,61	553,78
PT6-70	564,54	565,48	565,59	565,7	565,81	566,07	566,24	566,53	566,75	567	567,25	570,78
PT1-100	1142,17	1144,07	1144,63	1145,38	1146,07	1147,52	1148,67	1149,63	1150,69	1152,59	1152,69	1165,57
PT2-100	1109,5	1111,83	1112,11	1112,47	1112,79	1113,54	1114,11	1114,60	1115,18	1116,17	1116,27	1139,78
PT3-100	1102,45	1104,74	1105,20	1105,93	1106,58	1107,91	1108,95	1109,84	1110,85	1112,65	1112,87	1128,99
PT4-100	1138,67	1140,67	1140,93	1141,31	1141,60	1142,34	1142,90	1143,38	1143,64	1144,48	1144,57	1165,45
PT5-100	1161,37	1163,48	1163,74	1164,12	1164,41	1165,15	1165,71	1166,19	1166,45	1167,29	1167,38	1188,45
PT6-100	1118,37	1120,45	1120,80	1121,29	1121,67	1122,65	1123,40	1124,04	1124,78	1126,05	1126,21	1144,56
PT1-150	2534,62	2539,19	2539,75	2540,50	2541,19	2542,64	2543,79	2544,75	2545,81	2547,71	2547,81	2582,89
PT2-150	2513,75	2519,23	2519,54	2520,00	2520,35	2521,17	2521,83	2522,36	2523,02	2524,13	2524,27	2569,27
PT3-150	2539,04	2542,76	2543,03	2543,46	2543,78	2544,58	2545,23	2545,74	2546,40	2547,48	2547,65	2585,82
PT4-150	2551,25	2556,53	2556,99	2557,72	2558,37	2559,70	2560,74	2561,63	2562,64	2564,44	2564,66	2598,89
PT5-150	2634,07	2640,47	2640,79	2641,28	2641,62	2642,56	2643,25	2643,83	2644,53	2645,73	2645,88	2678,15
PT6-150	2593,68	2597,91	2598,22	2598,68	2599,03	2599,85	2600,51	2601,04	2601,70	2602,81	2602,95	2618,81

Referência provetes	Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m ²)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
PT1-40	225,00	293,75	362,50	431,25	593,75	700,00	881,25	1018,75	1175,00	1331,25	3131,25
PT2-40	143,75	200,00	268,75	337,50	475,00	612,50	743,75	981,25	1181,25	1250,00	2700,00
PT3-40	206,25	262,50	331,25	375,00	531,25	600,00	691,25	908,75	1093,75	1131,25	2350,00
PT4-40	231,25	287,50	375,00	443,75	606,25	737,50	837,50	971,25	1188,75	1218,75	3050,00
PT5-40	225,00	281,25	387,50	468,75	650,00	793,75	918,75	1083,75	1338,75	1375,00	2837,50
PT6-40	243,75	293,75	368,75	431,25	587,50	706,25	818,75	970,00	1191,25	1243,75	3075,00
PT1-70	214,29	232,65	257,14	281,63	326,53	363,27	402,04	440,82	506,12	512,24	930,61
PT2-70	161,22	177,55	202,04	222,45	273,47	312,24	348,98	398,37	470,61	487,76	955,10
PT3-70	212,24	230,61	259,18	281,63	334,69	377,55	410,20	453,88	524,90	534,69	953,06
PT4-70	210,20	228,57	253,06	277,55	322,45	359,18	397,96	436,73	502,04	508,16	1004,08
PT5-70	204,08	222,45	257,14	283,67	342,86	389,80	430,61	484,49	567,76	579,59	1226,53
PT6-70	191,84	214,29	236,73	259,18	312,24	346,94	406,12	451,02	502,04	553,06	1273,47
Referência provetes	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
PT1-100	190,00	246,00	321,00	390,00	535,00	650,00	746,00	851,60	1041,80	1052,00	2340,00
PT2-100	233,00	261,00	297,00	329,00	404,00	461,00	510,00	568,20	666,60	677,00	3028,00
PT3-100	229,00	275,00	348,00	413,00	546,00	650,00	739,00	840,20	1019,60	1042,00	2654,00
PT4-100	200,00	226,00	264,00	293,00	367,00	423,00	471,00	497,20	580,60	590,00	2678,00
PT5-100	211,00	237,00	275,00	304,00	378,00	434,00	482,00	508,20	591,60	601,00	2708,00
PT6-100	208,00	243,00	292,00	330,00	428,00	503,00	567,00	640,60	767,80	784,00	2619,00
PT1-150	203,11	228,00	261,33	292,00	356,44	407,56	450,22	497,16	581,69	586,22	2145,33
PT2-150	243,56	257,33	277,78	293,33	329,78	359,11	382,67	412,00	461,33	467,56	2467,56
PT3-150	165,33	177,33	196,44	210,67	246,22	275,11	297,78	327,11	375,11	382,67	2079,11
PT4-150	234,67	255,11	287,56	316,44	375,56	421,78	461,33	506,31	586,04	596,00	2117,33
PT5-150	284,44	298,67	320,44	335,56	377,33	408,00	433,78	464,98	518,04	524,89	1959,11
PT6-150	188,00	201,78	222,22	237,78	274,22	303,56	327,11	356,44	405,78	412,00	1116,89

Referência provetes	Resultados do ensaio completo						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PT1-40	81,70	-19,74	0,997	0,633	0,579	0,057	9,91%
PT2-40	73,36	-37,24	0,996	0,568			
PT3-40	61,15	65,99	0,996	0,474			
PT4-40	78,70	-3,07	0,996	0,610			
PT5-40	74,22	86,14	0,996	0,575			
PT6-40	79,59	-14,86	0,996	0,616			
PT1-70	20,21	173,11	0,998	0,157	0,187	0,033	17,45%
PT2-70	22,55	104,58	0,999	0,175			
PT3-70	20,97	173,95	0,996	0,162			
PT4-70	22,25	152,52	0,999	0,172			
PT5-70	28,70	122,69	0,998	0,222			
PT6-70	30,17	83,69	0,989	0,234			
PT1-100	60,31	64,98	0,999	0,467	0,521	0,038	7,27%
PT2-100	75,61	-195,88	0,907	0,586			
PT3-100	67,45	18,28	0,994	0,522			
PT4-100	66,78	-170,86	0,906	0,517			
PT5-100	67,28	-163,91	0,905	0,521			
PT6-100	66,10	-90,96	0,958	0,512			
PT1-150	52,80	-62,43	0,934	0,409	0,369	0,091	24,75%
PT2-150	59,56	-145,64	0,859	0,461			
PT3-150	51,41	-162,51	0,870	0,398			
PT4-150	51,18	-30,28	0,930	0,396			
PT5-150	45,19	17,69	0,895	0,350			
PT6-150	25,45	74,42	0,959	0,197			

Referência provetes	Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PT1-40	75,41	31,04	0,993	0,584	0,573	0,047	8,27%
PT2-40	79,10	-83,66	0,991	0,613			
PT3-40	65,66	29,53	0,990	0,509			
PT4-40	70,48	63,34	0,998	0,546			
PT5-40	82,25	21,23	0,997	0,637			
PT6-40	70,97	54,76	0,995	0,550			
PT1-70	21,38	163,68	0,997	0,166	0,181	0,016	8,93%
PT2-70	23,17	99,51	0,995	0,180			
PT3-70	23,01	157,42	0,998	0,178			
PT4-70	21,38	159,60	0,997	0,166			
PT5-70	26,86	137,54	0,997	0,208			
PT6-70	24,62	128,50	0,993	0,191			
PT1-100	61,99	51,41	0,997	0,480	0,321	0,118	36,72%
PT2-100	31,79	158,13	0,998	0,246			
PT3-100	58,06	94,17	0,998	0,450			
PT4-100	27,89	143,35	0,992	0,216			
PT5-100	27,89	154,35	0,992	0,216			
PT6-100	41,18	110,36	0,998	0,319			
PT1-150	27,55	141,52	0,997	0,213	0,152	0,043	27,97%
PT2-150	15,95	206,71	0,998	0,124			
PT3-150	15,50	127,63	0,997	0,120			
PT4-150	25,80	174,74	0,998	0,200			
PT5-150	17,17	244,04	0,998	0,133			
PT6-150	15,95	151,15	0,998	0,124			

A.4.7 – Tabelas de resultados para provetes sem protecção

Referência provetes	Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)											
	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
SP40-1	145,43	145,77	145,86	146,03	146,16	146,45	146,68	146,88	147,14	147,55	147,61	149,61
SP40-2	142,69	142,97	143,04	143,16	143,26	143,48	143,68	143,83	144,07	144,40	144,48	146,39
SP40-3	144,56	144,89	145,00	145,14	145,26	145,56	145,78	145,99	146,23	146,62	146,67	148,53
SP40-4	143,57	143,89	143,98	144,12	144,23	144,49	144,70	144,86	145,07	145,42	145,47	147,19
SP40-5	143,04	143,40	143,49	143,63	143,75	144,04	144,26	144,44	144,70	145,09	145,15	147,13
SP40-6	146,33	146,63	146,71	146,83	146,93	147,18	147,37	147,55	147,79	148,15	148,23	150,09
SP70-1	560,91	561,93	562,28	562,77	563,15	564,13	564,88	565,52	566,26	567,53	567,69	572,95
SP70-2	564,90	565,83	566,14	566,60	566,95	567,77	568,43	568,96	569,62	570,73	570,87	575,72
SP70-3	584,47	585,28	585,54	585,92	586,21	586,95	587,51	587,99	588,25	589,09	589,18	594,26
SP70-4	575,39	576,36	576,68	577,17	577,51	578,45	579,14	579,72	580,42	581,62	581,77	587,17
SP70-5	560,94	561,82	562,09	562,52	562,84	563,64	564,29	564,80	565,46	566,54	566,71	571,45
SP70-6	560,34	561,21	561,49	561,85	562,17	562,92	563,49	563,98	564,56	565,55	565,65	569,97
SP100-1	1139,25	1140,79	1141,35	1142,10	1142,79	1144,24	1145,39	1146,35	1147,41	1149,31	1149,41	1156,90
SP100-2	1140,27	1141,50	1141,81	1142,33	1142,81	1143,80	1144,61	1145,36	1146,25	1147,66	1147,85	1154,62
SP100-3	1139,01	1140,32	1140,71	1141,33	1141,87	1143,02	1143,91	1144,63	1145,48	1146,98	1147,08	1153,58
SP100-4	1164,13	1165,81	1166,37	1167,20	1167,92	1169,57	1170,85	1171,94	1173,14	1175,29	1175,48	1183,97
SP100-5	1162,05	1163,47	1163,93	1164,66	1165,31	1166,64	1167,68	1168,57	1169,58	1171,38	1171,60	1179,20
SP100-6	1132,62	1133,40	1134,11	1134,60	1135,03	1136,07	1136,93	1137,71	1138,60	1140,10	1140,38	1147,66

Referência provetes	Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m ²)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
SP40-1	212,50	268,75	375,00	456,25	637,50	781,25	906,25	1071,25	1326,25	1362,50	2612,50
SP40-2	175,00	218,75	293,75	356,25	493,75	618,75	712,50	861,25	1071,25	1118,75	2312,50
SP40-3	206,25	275,00	362,50	437,50	625,00	762,50	893,75	1042,50	1290,00	1318,75	2481,25
SP40-4	200,00	256,25	343,75	412,50	575,00	706,25	806,25	940,00	1157,50	1187,50	2262,50
SP40-5	225,00	281,25	368,75	443,75	625,00	762,50	875,00	1037,50	1281,25	1318,75	2556,25
SP40-6	187,50	237,50	312,50	375,00	531,25	650,00	762,50	913,75	1135,00	1187,50	2350,00
SP70-1	208,16	279,59	379,59	457,14	657,14	810,20	940,82	1091,02	1350,61	1383,67	2457,14
SP70-2	189,80	253,06	346,94	418,37	585,71	720,41	828,57	963,27	1189,80	1218,37	2208,16
SP70-3	165,31	218,37	295,92	355,10	506,12	620,41	718,37	771,84	942,04	962,45	1997,96
SP70-4	197,96	263,27	363,27	432,65	624,49	765,31	883,67	1026,94	1270,61	1302,04	2404,08
SP70-5	179,59	234,69	322,45	387,76	551,02	683,67	787,76	922,45	1142,86	1177,55	2144,90
SP70-6	177,55	234,69	308,16	373,47	526,53	642,86	742,86	861,63	1062,45	1083,67	1965,31
SP100-1	154,00	210,00	285,00	354,00	499,00	614,00	710,00	815,60	1005,80	1016,00	1765,00
SP100-2	123,00	154,00	206,00	254,00	353,00	434,00	509,00	597,80	739,40	758,00	1435,00
SP100-3	131,00	170,00	232,00	286,00	401,00	490,00	562,00	647,20	796,60	807,00	1457,00
SP100-4	168,00	224,00	307,00	379,00	544,00	672,00	781,00	901,40	1116,20	1135,00	1984,00
SP100-5	142,00	188,00	261,00	326,00	459,00	563,00	652,00	753,20	932,60	955,00	1715,00
SP100-6	78,00	149,00	198,00	241,00	345,00	431,00	509,00	598,00	748,00	776,00	1504,00

Referência provetes	Resultados do ensaio completo						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h ^{0,5})	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
SP40-1	68,62	118,86	0,987	0,532	0,493	0,029	5,84%
SP40-2	61,05	44,58	0,996	0,473			
SP40-3	65,05	131,38	0,984	0,504			
SP40-4	58,78	126,62	0,987	0,455			
SP40-5	66,69	119,80	0,990	0,517			
SP40-6	61,97	71,21	0,992	0,480			
SP70-1	64,52	166,55	0,972	0,500	0,444	0,044	9,84%
SP70-2	57,65	146,44	0,977	0,447			
SP70-3	51,35	94,70	0,994	0,398			
SP70-4	63,03	140,05	0,980	0,488			
SP70-5	56,36	126,11	0,978	0,437			
SP70-6	51,14	135,74	0,977	0,396			
SP100-1	46,11	143,68	0,964	0,357	0,334	0,044	13,13%
SP100-2	37,64	71,78	0,985	0,292			
SP100-3	37,87	107,01	0,975	0,293			
SP100-4	52,18	144,92	0,966	0,404			
SP100-5	45,01	112,60	0,974	0,349			
SP100-6	40,21	43,40	0,987	0,311			

Referência provetes	Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
SP40-1	82,25	8,73	0,997	0,637	0,579	0,047	8,14%
SP40-2	67,06	-3,99	0,995	0,519			
SP40-3	79,71	12,94	0,997	0,617			
SP40-4	70,48	32,09	0,998	0,546			
SP40-5	78,31	25,86	0,997	0,607			
SP40-6	70,97	-1,49	0,995	0,550			
SP70-1	84,04	8,90	0,998	0,651	0,554	0,075	13,55%
SP70-2	73,23	20,60	0,998	0,567			
SP70-3	56,95	49,47	0,992	0,441			
SP70-4	78,83	12,44	0,998	0,611			
SP70-5	71,17	6,45	0,997	0,551			
SP70-6	64,88	24,75	0,998	0,503			
SP100-1	61,99	15,41	0,997	0,480	0,429	0,073	17,00%
SP100-2	45,69	6,75	0,997	0,354			
SP100-3	48,63	20,10	0,997	0,377			
SP100-4	69,60	4,17	0,997	0,539			
SP100-5	58,06	7,17	0,998	0,450			
SP100-6	48,28	-21,77	0,997	0,374			

A.4.8 – Tabelas de resultados para provetes com protecção parcial.

Referência provetes	Registos de pesagens dos provetes (gr) ao longo do tempo (min)											
	Po	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
PP40-1	146,59	147,02	147,13	147,24	147,35	147,61	147,78	148,07	148,29	148,54	148,79	151,06
PP40-2	144,06	144,49	144,6	144,71	144,83	145,03	145,14	145,43	145,61	145,83	145,99	149,01
PP40-3	147,25	147,8	147,89	148,01	148,13	148,35	148,53	148,72	148,91	149,23	149,26	151,7
PP40-4	145,35	145,69	145,78	145,92	146,03	146,29	146,5	146,66	146,874	147,222	147,27	149,81
PP40-5	145,44	145,96	146,07	146,18	146,29	146,55	146,72	147,01	147,23	147,48	147,73	150,65
PP40-6	145,47	145,94	146,02	146,14	146,24	146,49	146,68	146,86	147,102	147,456	147,54	150,55
PP70-1	560,92	562,15	562,30	563,54	564,26	565,91	567,19	568,28	569,48	571,63	571,82	573,62
PP70-2	565,55	566,76	567,11	567,60	567,98	568,96	569,71	570,35	571,09	572,36	572,52	579,15
PP70-3	546,71	547,99	548,45	549,18	549,83	551,16	552,20	553,09	554,10	555,90	556,12	561,7
PP70-4	539,31	540,61	541,32	541,81	542,24	543,28	544,14	544,92	545,81	547,31	547,59	553,65
PP70-5	546,8	548,19	548,47	548,83	549,15	549,90	550,47	550,96	551,54	552,53	552,63	561,99
PP70-6	536,57	537,73	538,29	539,04	539,73	541,18	542,33	543,29	544,35	546,25	546,35	550,37
Referência provetes	0	5	10	20	30	60	90	120	180	240	270	1440
PP100-1	1114,89	1115,12	1115,47	1115,96	1116,34	1117,32	1118,07	1118,71	1119,45	1120,72	1120,88	1142,77
PP100-2	1147,43	1150,51	1150,82	1151,34	1151,82	1152,81	1153,62	1154,37	1155,26	1156,67	1156,86	1175,57
PP100-3	1119,48	1122,59	1122,91	1123,40	1123,74	1124,68	1125,37	1125,95	1126,65	1127,85	1128,00	1143,63
PP100-4	1120,31	1124,8	1125,11	1125,57	1125,92	1126,74	1127,40	1127,93	1128,59	1129,70	1129,84	1144,22
PP100-5	1114,35	1118,18	1118,53	1119,02	1119,40	1120,38	1121,13	1121,77	1122,51	1123,78	1123,94	1137,09
PP100-6	1136,29	1139,28	1139,67	1140,29	1140,83	1141,98	1142,87	1143,59	1144,44	1145,94	1146,04	1159,73

Referência provetes	Absorção Capilar por unidade de área da superfície de teste (g/m ²)										
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
PP40-1	268,75	337,50	406,25	475,00	637,50	743,75	925,00	1062,50	1218,75	1375,00	2793,75
PP40-2	268,75	337,50	406,25	481,25	606,25	675,00	856,25	968,75	1106,25	1206,25	3093,75
PP40-3	343,75	400,00	475,00	550,00	687,50	800,00	918,75	1037,50	1237,50	1256,25	2781,25
PP40-4	212,50	268,75	356,25	425,00	587,50	718,75	818,75	952,50	1170,00	1200,00	2787,50
PP40-5	325,00	393,75	462,50	531,25	693,75	800,00	981,25	1118,75	1275,00	1431,25	3256,25
PP40-6	293,75	343,75	418,75	481,25	637,50	756,25	868,75	1020,00	1241,25	1293,75	3175,00
PP70-1	251,02	281,63	534,69	681,63	1018,37	1279,59	1502,04	1747,76	2186,12	2224,49	2591,84
PP70-2	246,94	318,37	418,37	495,92	695,92	848,98	979,59	1129,80	1389,39	1422,45	2775,51
PP70-3	261,22	355,10	504,08	636,73	908,16	1120,41	1302,04	1508,57	1874,69	1920,41	3059,18
PP70-4	265,31	410,20	510,20	597,96	810,20	985,71	1144,90	1326,53	1632,65	1689,80	2926,53
PP70-5	283,67	340,82	414,29	479,59	632,65	748,98	848,98	967,76	1168,57	1189,80	3100,00
PP70-6	236,73	351,02	504,08	644,90	940,82	1175,51	1371,43	1586,94	1975,10	1995,92	2816,33
Referência provetes	2,2361	3,1623	4,4721	5,4772	7,7460	9,4868	10,9545	13,4164	15,4919	16,4317	37,9473
PP100-1	23,00	58,00	107,00	145,00	243,00	318,00	382,00	455,60	582,80	599,00	2788,00
PP100-2	308,00	339,00	391,00	439,00	538,00	619,00	694,00	782,80	924,40	943,00	2814,00
PP100-3	311,00	343,00	392,00	426,00	520,00	589,00	647,00	717,20	836,60	852,00	2415,00
PP100-4	449,00	480,00	526,00	561,00	643,00	709,00	762,00	828,00	939,00	953,00	2391,00
PP100-5	383,00	418,00	467,00	505,00	603,00	678,00	742,00	815,60	942,80	959,00	2274,00
PP100-6	299,00	338,00	400,00	454,00	569,00	658,00	730,00	815,20	964,60	975,00	2344,00

Referência provetes	Resultados do ensaio completo						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PP40-1	71,65	105,15	0,997	0,555	0,586	0,044	7,50%
PP40-2	78,37	6,12	0,989	0,607			
PP40-3	68,32	165,76	0,999	0,529			
PP40-4	72,28	30,06	0,999	0,560			
PP40-5	82,35	74,94	0,996	0,638			
PP40-6	80,90	24,50	0,995	0,627			
PP70-1	71,22	478,83	0,755	0,552	0,585	0,029	4,92%
PP70-2	71,89	145,83	0,991	0,557			
PP70-3	81,00	288,95	0,937	0,627			
PP70-4	75,50	247,69	0,971	0,585			
PP70-5	78,24	22,97	0,991	0,606			
PP70-6	75,45	366,38	0,876	0,584			
Referência provetes	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PP100-1	75,43	-351,30	0,940	0,584	0,471	0,072	15,31%
PP100-2	69,09	2,68	0,966	0,535			
PP100-3	57,83	64,92	0,967	0,448			
PP100-4	53,36	224,94	0,968	0,413			
PP100-5	52,40	194,70	0,986	0,406			
PP100-6	56,81	122,00	0,993	0,440			

Referência provetes	Resultados do ensaio das primeiras 4,5h						
	Parâmetros da recta				Coef. Absorção		
	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PP40-1	75,41	74,79	0,993	0,584	0,545	0,037	6,73%
PP40-2	64,31	119,68	0,994	0,498			
PP40-3	65,47	188,77	0,997	0,507			
PP40-4	70,48	44,59	0,998	0,546			
PP40-5	75,41	131,04	0,993	0,584			
PP40-6	70,97	104,76	0,995	0,550			
PP70-1	144,08	-109,79	0,996	1,116	0,822	0,226	27,50%
PP70-2	84,04	47,67	0,998	0,651			
PP70-3	118,49	-13,93	0,998	0,918			
PP70-4	98,53	61,70	0,997	0,763			
PP70-5	64,88	130,87	0,998	0,503			
PP70-6	126,51	-46,10	0,997	0,980			
Referência provetes	a	S0	R^2	(mm/h^0,5)	Média (a)	DP (a)	C.V. (a)
PP100-1	41,18	-74,64	0,998	0,319	0,324	0,036	11,08%
PP100-2	45,69	191,75	0,997	0,354			
PP100-3	38,63	220,09	0,998	0,299			
PP100-4	35,88	366,10	0,998	0,278			
PP100-5	41,18	285,36	0,998	0,319			
PP100-6	48,63	188,10	0,997	0,377			

English version

**Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination
of water absorption coefficient due to capillary action of
hardened mortar**

Méthodes d'essai des mortiers pour maçonneries - Partie
18: Détermination du coefficient d'absorption d'eau par
capillarité des mortiers

Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 18:
Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von
erhärtetem Mörtel (Festmörtel)

This European Standard was approved by CEN on 6 July 2002.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

Contents

	page
Foreword	3
1 Scope.....	4
2 Normative references.....	4
3 Principle	4
4 Symbols.....	4
5 Apparatus.....	5
6 Materials	5
7 Sampling and preparation and storage of test specimens.....	5
8 Procedure.....	6
9 Calculation and expression of results	8
10 Test report.....	8

Foreword

This document (EN 1015-18:2002) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 125 "Masonry", the secretariat of which is held by BSI.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by June 2003, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by September 2004.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

1 Scope

This European Standard specifies a method for determining the water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortars containing mineral binders and normal as well as light weight aggregates.

2 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text, and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

prEN 998-1, *Specification for mortar for masonry — Part 1: Rendering and plastering mortar.*

prEN 998-2, *Specification for mortar for masonry — Part 2: Masonry mortar.*

EN 1015-2:1998, *Methods of test for mortar for masonry — Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars.*

EN 1015-3, *Methods of test for mortar for masonry — Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).*

EN 1015-11, *Methods of test for mortar for masonry — Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.*

3 Principle

The water absorption coefficient due to capillary action is measured using mortar prism specimens under prescribed conditions at atmospheric pressure. After drying to constant mass, one face of the specimen is immersed in 5 to 10 mm of water for a specific period of time and the increase in mass determined.

4 Symbols

M0	is (for renovation mortars) the dry mass of the specimen, (g)
M1	is the mass of the specimen after soaking for 10 min, (g)
M2	is the mass of the specimen after soaking for 90 min, (g)
M3	is (for renovation mortars) the mass of the specimen after soaking for 24 h, (g)
C	is the coefficient of water absorption for an individual mortar specimen, ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{min}^{0.5})$) (for mortars other than renovation mortars) or (kg/m^2) (for renovation mortars)
C_m	is the mean coefficient of water absorption of the sample of mortar due to capillary action, ($\text{kg}/(\text{m}^2 \text{min}^{0.5})$) (for mortars other than renovation mortars) or (kg/m^2) (for renovation mortars)

5 Apparatus

5.1 Tray, of minimum depth of 20 mm and of plan area large enough to contain the specimens to be immersed and fitted with a means of maintaining a constant water level.

5.2 Four support pads or similar per specimen, to store the specimen, with a minimum contact area, clear of the base tray and with the specified depth of immersion.

5.3 Stopwatch, graduated in seconds.

5.4 Weighing instrument, with an accuracy of 0,1 % of the total, dry mass of the test specimen.

5.5 Ventilated oven, capable of maintaining a temperature of $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.6 Trowel or palette knife

5.7 Absorbent filter papers with a specific mass of $200\text{ g/m}^2 \pm 20\text{ g/m}^2$ and water absorption capacity of $160\text{ g/m}^2 \pm 20\text{ g/m}^2$; twelve sheets each with a size of approximately $150\text{ mm} \times 175\text{ mm}$.

5.8 Conditioning chamber or room, capable of maintaining a relative humidity of $95\% \pm 5\%$ and $65\% \pm 5\%$.

5.9 Metal mould and other ancillary apparatus (to produce $160\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ prism specimens) as described in EN 1015-11.

6 Materials

6.1 Demineralized or distilled water

6.2 Sealing material, e.g. paraffin wax or synthetic reactive resin with a melting point above $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

7 Sampling and preparation and storage of test specimens

7.1 General

The fresh mortar for this test shall have a minimum volume of 1,5 l or at least 1,5 times the quantity needed to perform the test, whichever is the greater, and shall either be obtained by reduction of the bulk test sample (see EN 1015-2) using a sample divider or by quartering or by preparation from water and the other constituents in the laboratory. Three test specimens shall be prepared from the sample of mortar.

7.2 Laboratory prepared mortars

The length of mixing period shall be measured from the moment all the constituents are introduced into the mixer.

The mortar shall be brought to a defined flow value as specified in EN 1015-2 determined in accordance with EN 1015-3 and reported.

7.3 Mortars, other than laboratory prepared mortars

Ready to use mortars (factory-made wet mortars which are retarded), and pre-batched air-lime/sand wet mortars when not gauged with hydraulic binders, shall be used for specimen preparation within their specified workable life.

Before testing, the batch shall be gently stirred by hand using a trowel or palette knife (5.6) for 5 s to 10 s to counteract any false setting etc., but without any additional mixing of the batch.

The flow value of the mortar in the bulk test sample shall be determined in accordance with EN 1015-3 and reported.

7.4 Preparation and curing of test specimens

Prepare three test specimen prisms with dimensions 160 mm × 40 mm × 40 mm according to EN 1015-11. Line the base of the metal mould with filter paper and fill with mortar and strike off the surface flush with the top of the mould. Place a layer of filter paper on the mortar surface. Cure the test specimens under the conditions described in Table 1. At the end of the curing period, demould the specimens. Seal the four long faces of the specimens using the specified sealing material, then break them into two halves.

Table 1 — Curing of test specimens

Type of mortar	Curing time at a temperature of 20 °C ± 2 °C in days		
	95 % ± 5 % RH (relative humidity)		65 % ± 5 % RH
	in the mould ^{a)}	with the mould removed	with the mould removed
Lime mortars	5	2	21
Lime/cement mortars in which the amount of lime is greater than 50 % of the total binder weight	5	2	21
Cement and other lime/cement mortar	2	5	21
Mortars with other hydraulic binders	2	5	21
Retarded mortars	5	2	21
^{a)} In some cases an extended period of storage in the mould may be necessary.			

7.5 Drying

Dry the test specimens to constant mass in a ventilated oven at a temperature of 60 °C ± 5 °C. Constant mass is reached, if during the drying process in two subsequent weighings with a 24 h interval, the loss in mass between the two determinations is not more than 0,2 % of the total mass.

For renovation mortars only, record the dry mass of each specimen (M3).

8 Procedure

Place the specimens in the tray (5.1), with the broken faces of the prisms downwards, supported clear of the base of the tray on the four support pads (5.2), immersed in water (6.1) to a depth of 5 mm to 10 mm for the duration of the test (see Figure 1). To ensure full immersion of rough surface textured specimens avoiding trapping air bubbles beneath them, immerse them in a sloping attitude.

Activate the timing device. Maintain the water level constant throughout the test.

Cover the tray to avoid evaporation from the wet test specimens.

If visible wetting occurs on the free surface of the test specimens, stop the test. Break the specimens to ensure that they are fully saturated. If they are saturated then weigh the two pieces together. If not fully saturated, repeat the test with a new specimen.

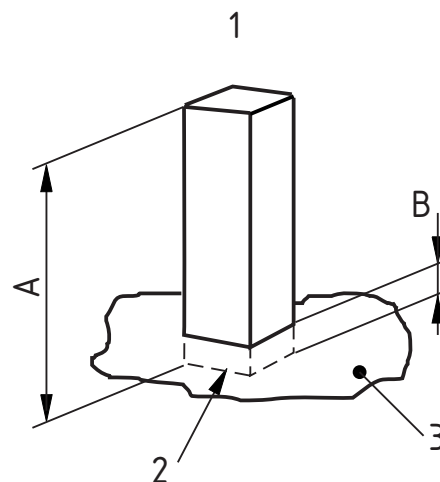
NOTE If, when the specimen is broken, it is not saturated across the whole area, it can be that the sealing of the long faces was inadequate. Therefore, special attention should be paid to this aspect of preparation of any replacement specimens.

For mortars other than renovation mortars:

remove the specimens from the tray after 10 min, wipe off rapidly surface water with a dampened cloth, weigh the specimen (M1) and replace them immediately into the tray. Repeat the same procedure after 90 min and weigh (M2).

For renovation mortars only:

remove the specimens from the tray after 24 h and weigh them (M3). Immediately afterwards, split each specimen along its length to give approximately pieces of dimension 80 mm × 40 mm × 20 mm. Measure the height of water penetration in the center of the specimen parallel to the 80 mm dimension with an accuracy of 1 mm.



Key

- 1 Prism specimen
 - 2 Broken end face of prism
 - 3 Water surface
 - A 80 mm approximately
 - B Immersion 5 to 10 mm*
- *10 mm if surface is heavily textured

Figure 1 — Render specimens

9 Calculation and expression of results

For other than renovation mortars the coefficient of water absorption is by definition equal to the slope of the straight line linking the representative points of the measurements carried out at 10 min and 90 min.

Calculate it on the basis of the following formula:

$$C = 0,1(M_2 - M_1) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$$

For renovation mortar only, water absorption is measured in kg/m^2 after 24 h using the following formula:

$$C = 0,625(M_3 - M_0) \text{ kg}/\text{m}^2$$

and water penetration depth is determined in mm.

Calculate individual values of coefficient of water absorption (C) to the nearest $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ or nearest $0,05 \text{ kg}/\text{m}^2$ as relevant.

Calculate the mean value of coefficient of water absorption (C_m) from the individual values to the nearest $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ or nearest $0,05 \text{ kg}/\text{m}^2$ as relevant.

10 Test report

The test report shall contain the following information:

- a) the number, title and date of issue of this European Standard;
- b) the place, date and time of taking the bulk test sample¹⁾²⁾;
- c) the method used for taking the bulk test sample (if known) and the name of the organization that took it;
- d) the type, origin and designation of the mortar by reference to part 1 or 2 of prEN 998;
- e) preparation (mixing, casting) and curing conditions;
- f) the date and time of preparation of the specimens for test;
- g) the flow value of the test mortar determined in accordance with EN 1015-3;
- h) the date and time of testing;
- i) individual values of coefficient of water absorption due to capillary action (C) stated to the nearest $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ or nearest $0,05 \text{ kg}/\text{m}^2$ as relevant, and, for other than renovation mortars, the length of time of immersion of each specimen;
- j) the mean coefficient of water absorption due to capillary action (C_m) stated to the nearest $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ or nearest $0,05 \text{ kg}/\text{m}^2$ as relevant;
- k) remarks, if any.

1) The sample taken from the bulk supply that is to be used for all of the tests in EN 1015.

2) This information is contained on the certificate of sampling (see 5.4 of EN 1015-2:1998).

Sika® ViscoCrete® 3005

Superplastificante de alto desempenho

Descrição do produto

Sika® ViscoCrete® 3005 é um superplastificante da terceira geração para betão e argamassa.
Cumprir os requisitos da Norma NP EN 934-2: T 3.1/3.2, como superplastificante ou forte redutor de água para betão.

Utilizações

Sika® ViscoCrete® 3005 permite obter uma muito forte plastificação e uma boa manutenção de consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas.

Sika® ViscoCrete® 3005 é especialmente adequado para os seguintes casos:

- Betões de Classe igual ou superior a C 30/37, com qualquer consistência, nos quais se pretenda obter uma economia grande de cimento.
- Betões plásticos com descofragem rápida ou solicitados numa idade curta.
- Betão muito plástico, fluído ou mesmo autocompactável (BAC) com resistências iniciais melhoradas e com menor custo.
- Betonagens mais rápidas em época fria.
- Prefabricação de betão estrutural, em fábrica ou in-situ.

Características / Vantagens

Sika® ViscoCrete® 3005 actua sobre as partículas do ligante por dois mecanismos principais: adsorção superficial e efeito espacial. Ambos concorrem para um efeito dispersante muito intenso, permitindo uma elevada redução da água de amassadura ou um aumento marcado da trabalhabilidade. A combinação de vários polímeros permite atingir uma eficácia elevada com qualquer tipo de cimento.

Consegue-se assim:

- Um nível de redução de água muito elevado, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daqui resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa.
- Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil.
- Uma boa manutenção de consistência, que pode atingir as 2 horas a 20°C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem de adjuvante.
- Composições adequadas para betão autocompactável (BAC) em obra ou em prefabricação, com bom desenvolvimento de resistências.
- Um comportamento mais favorável quanto à retracção e quanto à fluência.

Sika® ViscoCrete® 3005 é isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.

Certificados / Boletins de ensaio

Conforme as especificações da norma NP EN 934-2:T3.1/3.2.

Dados do produto

Aspecto / Cor

Líquido castanho claro, levemente turvo; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência sobre o desempenho do adjuvante.

Fornecimento

210 kg (200 litros); 1.050 kg (1 m³).



Armazenagem e conservação	O produto deve estar armazenado nas embalagens de origem não encetadas e não deterioradas, ao abrigo da radiação do sol e da geada, a temperaturas entre +5 °C e +35 °C. Conserva-se 1 ano após a data de fabrico.
Dados técnicos	
Base química	Combinação de policarboxilatos modificados, em solução aquosa.
Massa volúmica (23 ± 2°C)	1,05 ± 0,02 kg/dm ³ .
pH (23 ± 2°C)	4,0 ± 1,0.
Teor de sólidos	25,5 ± 1,2%.
Teor em iões cloreto	< 0,1%.
Informação sobre o sistema	
Pormenores de aplicação	
Consumo / Dosagem	<p>Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se partir das seguintes dosagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Betão facilmente trabalhável, com optimização do teor em cimento: 0,4% a 0,9% do peso do cimento. ■ Betão quase sem vibração e betão autocompactável (BAC): 1,0% a 1,4% do peso do cimento. ■ Betão de consistências S4 ou S5 com os objectivos de combinar optimização do ligante e manutenção de consistência: 1,0% a 1,6% do peso do cimento. ■ Sika® ViscoCrete® 3005, em condições médias, apresenta uma excelente manutenção da consistência. Se for oportuno aumentar a trabalhabilidade, devido a qualquer dificuldade do trabalho em causa, poderá efectuar-se uma redosagem com Sika® ViscoCrete® 3005, desde que o adjuvante seja bem misturado na autobetoneira ou no misturador e desde que não se ultrapasse um total de 1,8%. ■ Dosagens de conformidade com EN 934-2: 0,6% a 0,8% do peso do cimento.
Mistura	<p>Se for possível, deverá preparar-se o betão com apenas cerca de $\frac{2}{3}$ da água prevista e adicionar então o adjuvante misturando energeticamente cerca de 1 minuto/m³; só então será adicionada mais alguma água até à consistência desejada. Este processo conduz ao aproveitamento máximo do adjuvante e permite controlar convenientemente a razão água/ligante. Se o processo não for viável, então adicionar o produto à água de amassadura previamente determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea.</p> <p>É importante garantir um tempo mínimo de 1,5 a 2 minutos de amassadura, para obter o efeito pleno do adjuvante.</p> <p>Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia).</p> <p>É possível a adição na autobetoneira desde que seja garantida a uniformidade do betão.</p> <p>No caso de redosagem em obra, deve haver o cuidado de homogeneizar bem o adjuvante na massa do betão. Para isso, recomenda-se uma muito pequena adição de água no recipiente que contém o adjuvante, apenas para reduzir a sua viscosidade e facilitar a sua boa incorporação. O betão deve ser “puxado” acima e o adjuvante deve ser adicionado lentamente, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário, inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneização. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.</p>
Aplicação	Sika® ViscoCrete® 3005 permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a colocação e a cura do betão.

Compatibilidade	<p>Sika® ViscoCrete® 3005 pode ser combinado com os seguintes produtos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Sika® FerroGard® 901. ■ Sika® Pump. ■ Sika® Rapid. ■ Sikacrete®. <p>Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.</p>
Limpeza de ferramentas	Com água.
Importante	<p>Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere a composição do betão.</p> <p>Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se.</p> <p>Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.</p>
Nota	<p>Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaios realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.</p>
Risco e segurança	
Medidas de segurança	<p>Mercadoria não perigosa para transporte.</p> <p>Este produto não está classificado de acordo com a legislação da UE.</p> <p>Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo.</p>

"O produto está seguro na Cª Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nº CH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que pedida.



Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113 Tel. +351 22 377 69 00
4400-292 V. N. Gaia Fax +351 22 370 20 12
Portugal www.sika.pt



Implementado na fábrica de Ovar